bvj

5

HAVO

biologie voor jou

LEEROPDRACHTENBOEK

MAX METHODE BIOLOGIE

NAAM:

KLAS:

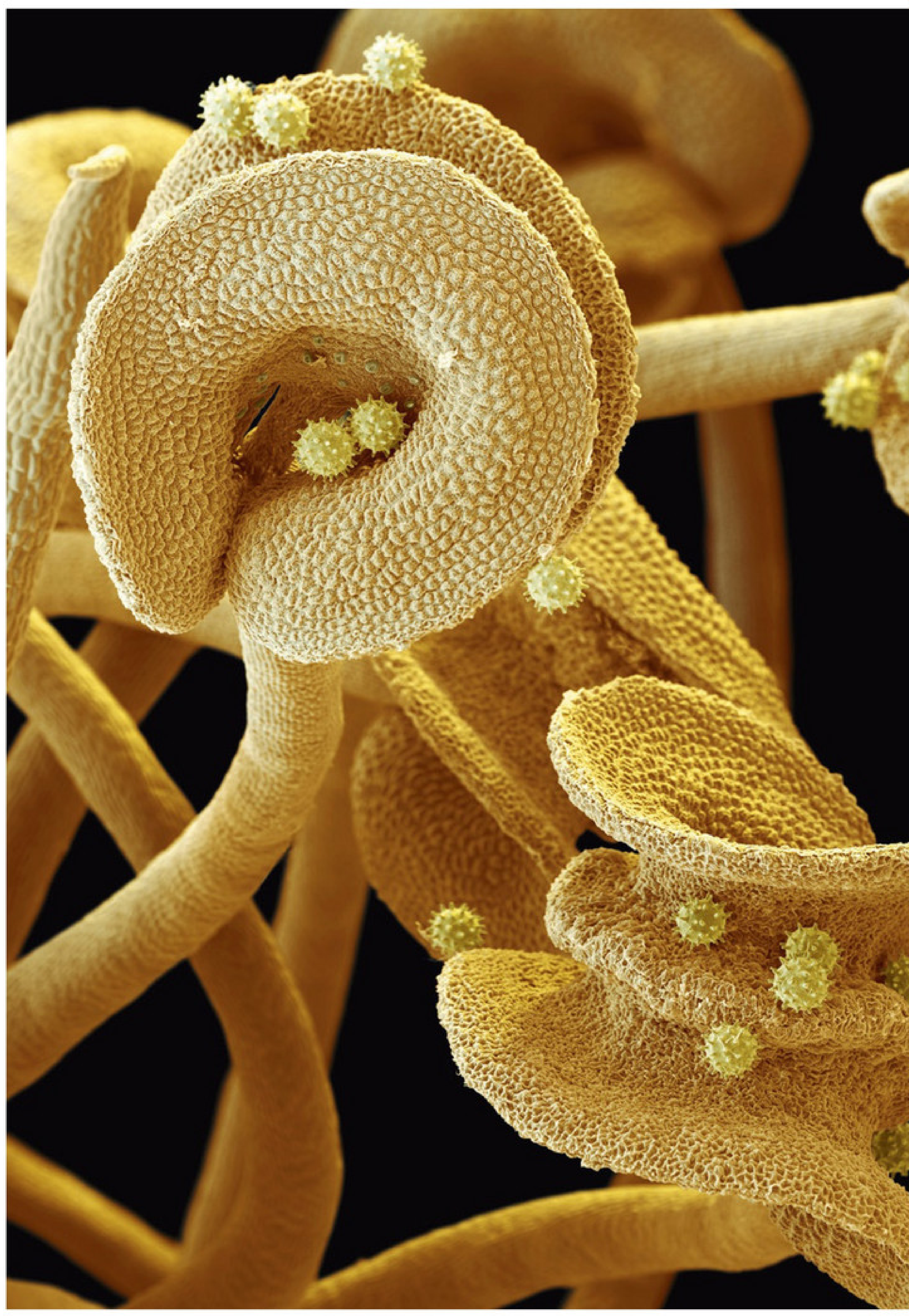
MALMBERG

bvj

5

HAVO

biologie voor jou
LEEROPDRACHTENBOEK



BIOLOGIE VOOR DE BOVENBOUW
HAVO

AUTEURS
MARIANNE GOMMERS
ARTHUR JANSEN
ANDRÉ VAN LEIJEN
RUUD PASSIER
HANS RAWEE
THEO DE ROUW

EINDREDACTIE
ILSE GMELIG
LINEKE PIJNAPPELS

MET MEDEWERKING VAN
PAULA VAN KRANENBURG
CEES MULDER
RENÉ WESTRA

ZESDE EDITIE
MALMBERG 'S-HERTOGENBOSCH
WWW.BIOLOGIEVOORJOU.NL

Voorwoord

Dit boek maakt deel uit van de methode *Biologie voor jou* voor de bovenbouw van het havo. Met deze methode kun je zelfstandig werken. Hierdoor kun je (met aanwijzingen van je docent) oefenen op je eigen niveau, en je goed voorbereiden op proefwerken en examens.
We gebruiken in deze methode 'docent', 'leerling' en 'bioloog' voor beide geslachten.

WERKEN MET BIOLOGIE VOOR JOU

Biologie voor jou bestaat uit leeropdrachtenboeken, uitwerkingenboeken en een digitale leeromgeving. Je kunt alle onderdelen uit het boek ook daarin doen. Voor sommige onderdelen biedt de digitale leeromgeving extra mogelijkheden of gemak.

Biologie voor jou is opgedeeld in thema's. In een thema wordt de leerstof van een bepaald onderwerp uit de biologie behandeld. Alle thema's in de delen 4 en 5 havo samen vormen de gehele leerstof voor het biologie-examen havo. De thema's bestaan steeds uit dezelfde onderdelen. Deze staan hierna beschreven.

ONTDEKKEN

In deze context kun je de leerstof ontdekken door samen met je klasgenoten een maatschappelijke vraag of probleem op te lossen. Zo ontdek je welke rol biologie speelt in het dagelijks leven. De leerstof die bij 'Ontdekken' hoort, wordt behandeld in een of twee basisstoffen. Je docent zegt of en wanneer je met 'Ontdekken' aan de slag gaat.

BASISSTOF

In de basisstoffen staat in tekst en beeld alle leerstof die je moet kennen. Ook staan er opdrachten tussen de tekst en aan het einde van een basisstof. Met behulp van het uitwerkingenboek kun je deze opdrachten zelf nakijken.
Je kunt de opdrachten ook maken in de digitale leeromgeving. Bij moeilijke opgaven krijg je extra feedback en de gesloten opgaven worden automatisch nagekeken. Je ziet dan meteen het goede antwoord.

SAMENHANG

Met de context in de 'Samenhang' leer je nog beter verbanden te leggen tussen de leerstof uit de basisstoffen. Je leert om de verschillende organisatieniveaus in de biologie met elkaar te verbinden, van klein naar groot en andersom.

PRACTICA EN BIOLOGISCHE TECHNIEKEN

De practica staan overzichtelijk bij elkaar in een aparte paragraaf. Bij elk practicum is aangegeven bij welke basisstof het practicum hoort. Veelgebruikte biologische technieken staan in aparte kaders zodat je deze gemakkelijk kunt opzoeken.

SAMENVATTING

In de 'Samenvatting' staat precies omschreven wat je moet 'kennen en kunnen' voor een proefwerk of toets. De samenvatting is opgedeeld in leerdoelen. Deze leerdoelen kun je ook terugvinden in de basisstoffen. Hierdoor kun je altijd opzoeken welke leerstof bij de samenvatting hoort.
Wil je alle begrippen van het thema nog eens oefenen, dan kun je in de digitale leeromgeving gebruikmaken van de 'Flitskaarten'.

OEFENTOETS

Met de opdrachten in de ‘Oefentoets’ (diagnostische toets) kun je nagaan of je de basisstof voldoende beheerst voor je proefwerk of toets.
De oefentoets kun je in de digitale leeromgeving maken. In de digitale leeromgeving worden de gesloten opdrachten automatisch nagekeken. Ook krijg je een herkansing als je een opgave fout maakt. Zo kun je de oefentoets maken op je eigen niveau.

EXAMENTRAINER

Je kunt het thema afsluiten met de ‘Examentrainer’. De examentrainer helpt je niet alleen bij de voorbereiding op het examen, maar brengt ook verband aan tussen de verschillende thema’s. Zo leer je de samenhang tussen begrippen en processen beter te zien.

VERRIJKINGSSTOF

De verrijkingsstoffen staan online en bevatten extra stof bij het thema. Met de verrijkingsstoffen kun je extra kennis of vaardigheden opdoen, of oefenen op een meer uitdagend niveau.

CONTEXTEN

In dit boek staan veel contexten. Contexten verbinden de leerstof. Ook kun je met contexten ontdekken welke rol biologie speelt in het dagelijks leven, in beroepen en in de wetenschap. Bij contexten staan opdrachten die je helpen om de leerstof toe te passen in een nieuwe omgeving. Dit is een goede voorbereiding op het examen.
Sommige contexten staan in een opvallend oranje kader. Maar je zult ook zien dat veel opdrachten kleine contexten bevatten. In de contexten staat nooit nieuwe leerstof die je moet kennen voor het examen. Je hoeft contexten dus niet uit je hoofd te leren.

We wensen je veel plezier bij het werken met dit deel van *Biologie voor jou* en veel succes bij de voorbereiding op je examen.

De auteurs

Inhoud

THEMA 1

Stofwisseling in de cel

ONTDEKKEN
Honderd jaar hardlopen 8

BASISSTOF
1 Chemie in cellen 10
2 Enzymen 14
3 Fotosynthese 19
4 Voortgezette assimilatie 22
5 Dissimilatie 29
6 Intensiteit van de stofwisseling 34

SAMENHANG
Koe neemt gas terug 38

PRACTICA 40

SAMENVATTING 44

EXAMENTRAINER 46

THEMA 2

DNA

ONTDEKKEN
Waarom komt ouderdom met gebreken? 50

BASISSTOF
1 De bouw en functie van DNA 52
2 DNA-replicatie 58
3 Eiwitsynthese 63
4 Genexpressie 69
5 Mutaties 78
6 Biotechnologie 85

SAMENHANG
Gendoping 90

PRACTICA 92

SAMENVATTING 93

EXAMENTRAINER 96

THEMA 3

Vertering

ONTDEKKEN
Een gouden GREEP? 100

BASISSTOF
1 Voedingsstoffen 102
2 Het verteringsstelsel 110
3 Chemische vertering 116
4 Resorptie 122
5 Gezonde voeding 126

SAMENHANG
Eten en gegeten worden 134

PRACTICA 136

SAMENVATTING 140

EXAMENTRAINER 144

THEMA 4

Transport

ONTDEKKEN
De perfecte moord? 148

BASISSTOF
1 Transportsystemen 150
2 Het hart 159
3 Het bloedvatenstelsel 166
4 Het bloed 176
5 Weefselvloeistof en lymfe 182

SAMENHANG
Blozen maakt aantrekkelijk 186

PRACTICA 188

SAMENVATTING 191

EXAMENTRAINER 194

THEMA 5

Gaswisseling en uitscheiding

ONTDEKKEN
Eerste hulp bij festivals 198

BASISSTOF
1 Gaswisseling 200
2 Longventilatie 210
3 De lever 218
4 De nieren 222
5 De huid 227

SAMENHANG
De koningsziekte 232

PRACTICA 234

SAMENVATTING 238

EXAMENTRAINER 242

THEMA 6

Afweer

ONTDEKKEN
Besmettingsgevaar in de crèche? 246

BASISSTOF
1 Bescherming 248
2 Afweer 254
3 Immuniteit 264
4 Transplantatie en bloedtransfusie 270

SAMENHANG
Poep, het meest veelzijdige medicijn 278

PRACTICA 280

SAMENVATTING 282

EXAMENTRAINER 284

THEMA 7

Samenhang van de biologie

1 Cellen, de basis van het leven 288
2 DNA en erfelijkheid 290
3 Organismen 292
4 De aarde als levend systeem 296

REGISTER 300

COLOFON 302

1 Stofwisseling in de cel

Planten nemen via de bladeren en de wortels lichtenergie en grondstoffen op. Mensen moeten voedsel opnemen om in leven te blijven. In de stofwisseling zetten cellen de opgenomen stoffen en energie om in een bruikbare vorm.

ONTDEKKEN
Honderd jaar hardlopen 8

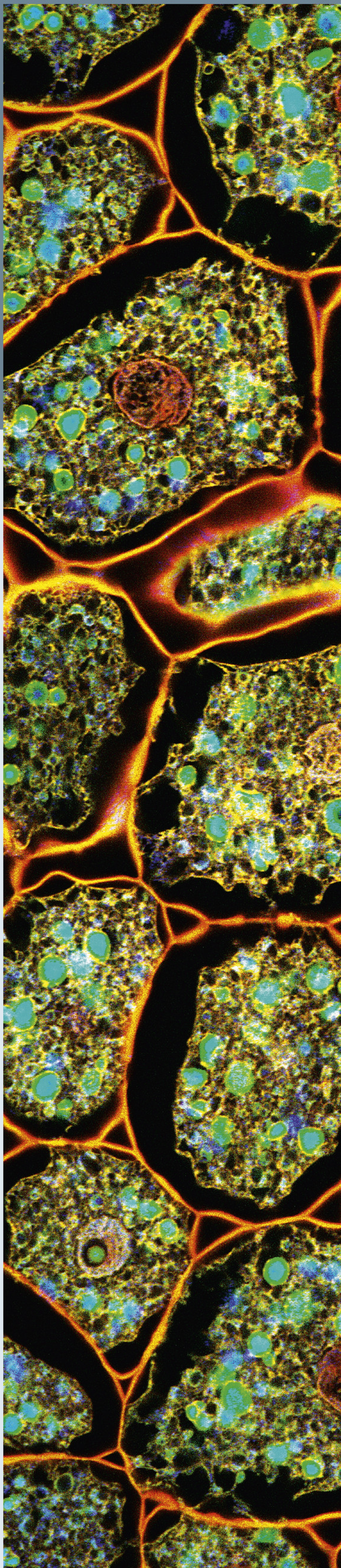
BASISSTOF
1 Chemie in cellen 10
2 Enzymen 14
3 Fotosynthese 19
4 Voortgezette assimilatie 22
5 Dissimilatie 29
6 Intensiteit van de stofwisseling 34

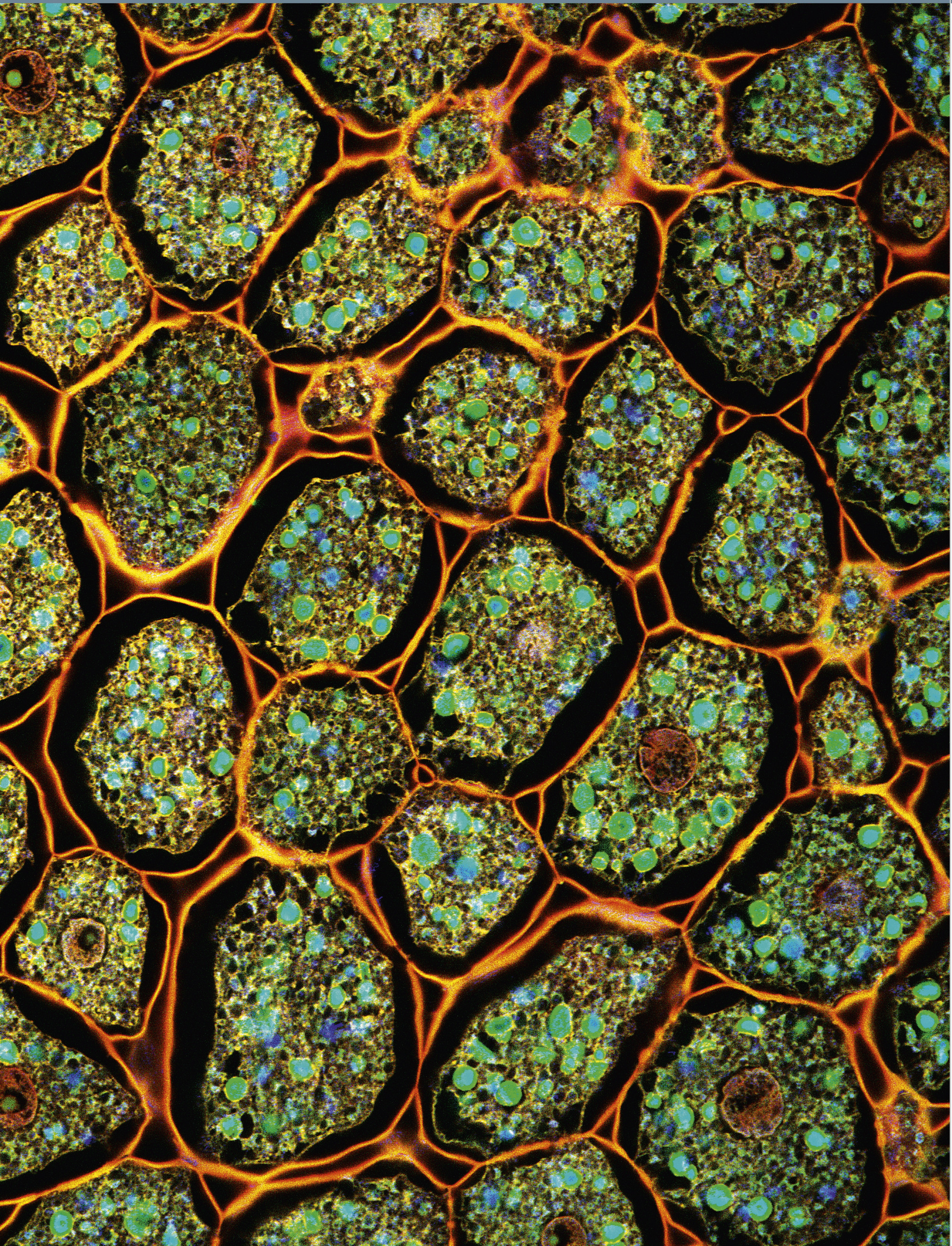
SAMENHANG
Koe neemt gas terug 38

PRACTICA 40

SAMENVATTING 44

EXAMENTRAINER 46







Honderd jaar hardlopen

BASISSTOF 1

De eerste marathon in Amsterdam vond plaats in 1916. Louwe Huizinga uit Groningen werd eerste. Sinds 1975 is de Amsterdam Marathon een jaarlijks terugkerend evenement. De veertigste editie van 2015 telde meer dan 45 000 deelnemers. Zo'n 16 500 van hen gingen voor de officiële afstand van 42,195 km.

De oudst bekende langeafstandsloop in Nederland werd gehouden in 1893. Bij deze 'go as you please-race' van maar liefst 85 km mochten de deelnemers zelf kiezen of ze wilden hardlopen of wandelen. De eerste loper kwam na bijna negen uur over de finish. Inmiddels zijn er in Nederland ruim 2,4 miljoen hardlopers en meer dan dertig jaarlijkse marathons. De grootste is die van Rotterdam met 17 500 inschrijvingen en 12 798 finishers in 2016, op de voet gevolgd door Amsterdam waar in datzelfde jaar 12 181 lopers over de finish kwamen. Ook Eindhoven, Leiden, Utrecht en vele andere plaatsen in Nederland hebben een eigen marathon.

'Duursporters hebben veel energie nodig.'

Een marathon loop je niet zomaar. Wie nog nooit heeft hardgelopen, mag best twee jaar uittrekken voor de voorbereiding. Ook moet je inzicht hebben in de werking van de energiesystemen van het lichaam. Duursporters, zoals marathonlopers, hebben veel energie nodig om hun intensieve inspanning gedurende lange tijd vol te houden. Het vrijmaken van die energie kan op verschillende manieren gebeuren, afhankelijk van de intensiteit en de duur van de inspanning. Marathonlopers gebruiken vooral het aerobe energiesysteem. Bij een wedstrijdmarathon bijvoorbeeld kunnen lopers hun hoge snelheid (20 km/h) meer dan twee uur volhouden doordat ze precies zó hard rennen dat de aerobe energievoorziening tot de grens wordt gebruikt – zonder over die grens heen te gaan. Dat lukt alleen door op de juiste manier te trainen.

▼ **Afb. 1** Trainen voor een marathon.



opdracht

Je bent werkzaam als fysiotherapeut in een sportschool. Enkele vaste bezoekers willen volgend jaar graag meedoen aan de Amsterdam Marathon. Ze hebben jou gevraagd hen te helpen bij hun training.

Je wilt de sporters graag helpen om de eindstreep te halen. Eerst ga je hen informeren over hoe in hun lichaam energie wordt vrijgemaakt en waar die energie vandaan komt. Omdat je weet dat er meer mensen in de sportschool trainen voor de marathon, besluit je hierover een algemene informatiefolder te maken. Je doet dit samen met twee collega's.

1 Maak een informatiefolder over de energievoorziening in het lichaam.

Stap 1 Inleiding
Geef puntsgewijs aan wat je gaat behandelen in de folder.

Stap 2 Informatie
Leg uit hoe energie in het lichaam wordt vrijgemaakt:
- Wat is het verschil tussen assimilatie en dissimilatie? Gebruik hierbij de begrippen 'organische stoffen' en 'anorganische stoffen'.
- Wat is chemische energie?
- Wat is ATP, hoe is ATP opgebouwd en wat is de functie?
- Waarom gaan de ademhalingsfrequentie en de hartslag tijdens hardlopen omhoog?

Aandachtspunten
- Bedenk dat de vormgeving (het uiterlijk van de folder) aantrekkelijk moet zijn.
- Maak een goede voorkant voor de folder.
- Zorg voor een of meer informatieve afbeeldingen.
- Maak de tekst niet te uitgebreid, want dan willen mensen het niet meer lezen.
- Vouw de folder op de juiste wijze.

Leerdoel
– Je kunt omschrijven wat stofwisseling, assimilatie en dissimilatie zijn en wat er bij deze reacties met de energie gebeurt.

1 Chemie in cellen

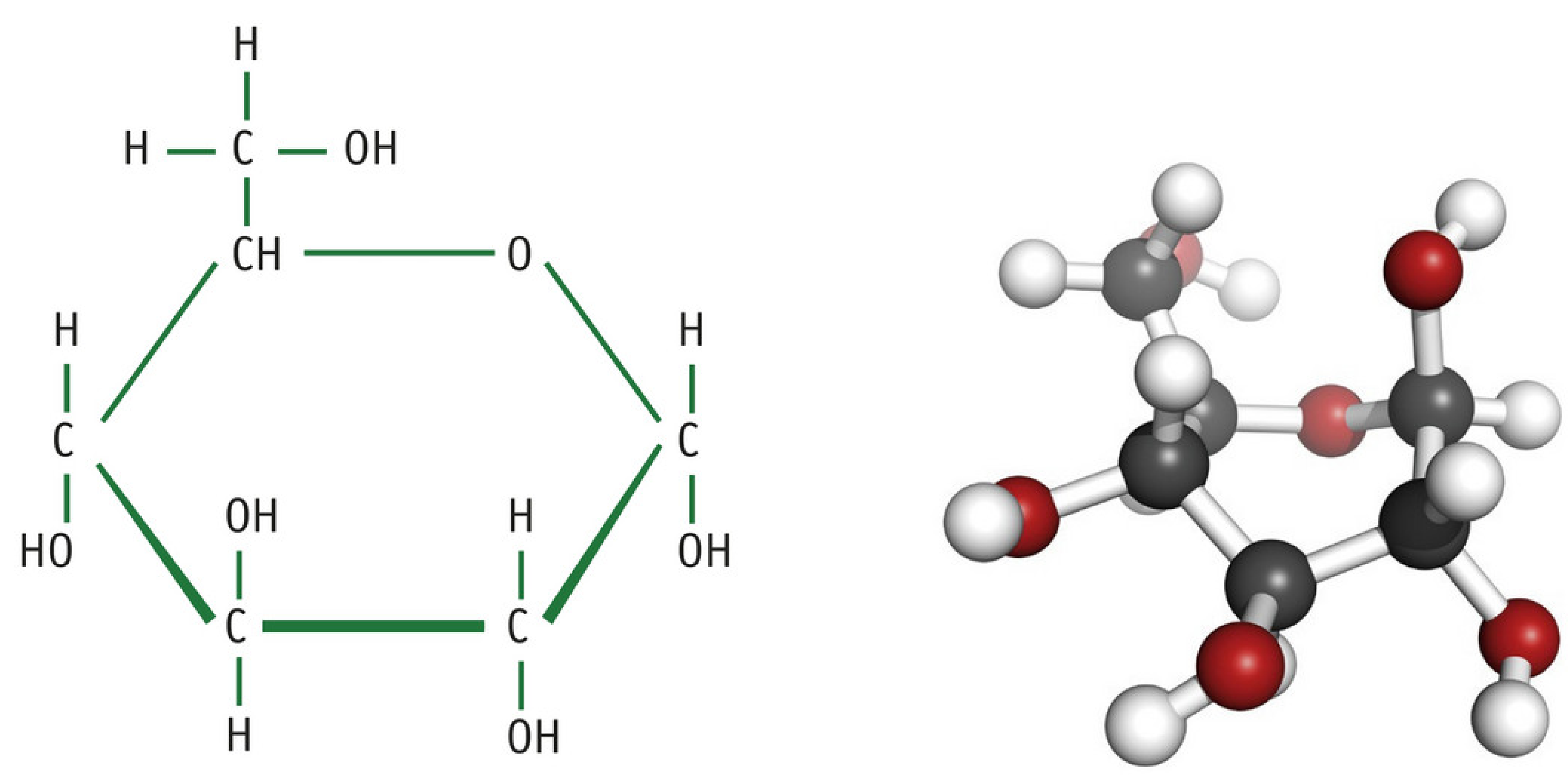
Je lichaam bestaat uit miljarden cellen. In elke cel bruist het dag en nacht van de chemische activiteit. Stoffen worden gevormd en afgebroken om de cel op te bouwen en te zorgen voor de broodnodige energie.

ENERGIERIJKE ORGANISCHE STOFFEN

Het geheel van chemische omzettingsprocessen in een organisme is de **stofwisseling** (**metabolisme**). Een groot deel van de stofwisseling vindt plaats in cellen. Levende cellen nemen stoffen op uit hun omgeving en zetten die stoffen om in andere stoffen. Die omzettingen zijn nodig voor de opbouw en instandhouding van de cel en voor de energievoorziening.

Organismen bestaan uit organische en anorganische stoffen. De moleculen van organische stoffen bevatten een of meer ketens van koolstofatomen. Deze koolstofketens kunnen enkele atomen lang zijn, maar kunnen ook duizenden koolstofatomen bevatten. Een organisch molecuul bevat naast het element koolstof (C) altijd het element waterstof (H) en meestal ook zuurstof (O). Om de bindingen tussen koolstof- en waterstofatomen tot stand te brengen, is energie nodig. Bij het verbreken van die C–H-bindingen komt de energie beschikbaar voor de cel. De energie die in de atoombindingen van energierijke stoffen is opgeslagen, wordt **chemische energie** genoemd. Anorganische stoffen bestaan uit kleine, eenvoudig gebouwde moleculen. Ze bevatten weinig chemische energie.

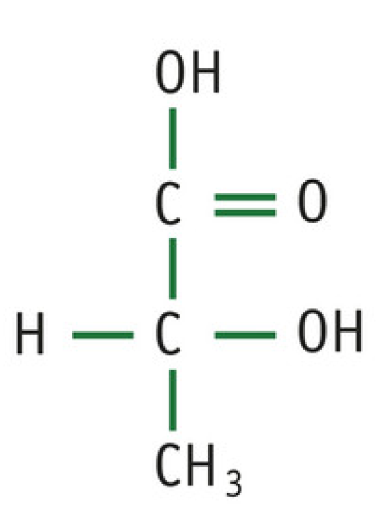
▶ **Afb. 1** Glucose.



1 structuurformule 2 ruimtelijk model

De organische stof glucose is belangrijk voor de stofwisseling als brandstof en als bouwstof. De molecuulformule van glucose is $C_6H_{12}O_6$. In afbeelding 1 zijn de structuurformule en een ruimtelijk model van glucose weergegeven. In een structuurformule is aangegeven welke atomen aan elkaar zijn gebonden. Wanneer twee atomen door twee bindingen aan elkaar zijn gebonden, spreken we van een dubbele binding. Een voorbeeld is de binding tussen C en O in melkzuur (zie afbeelding 2).

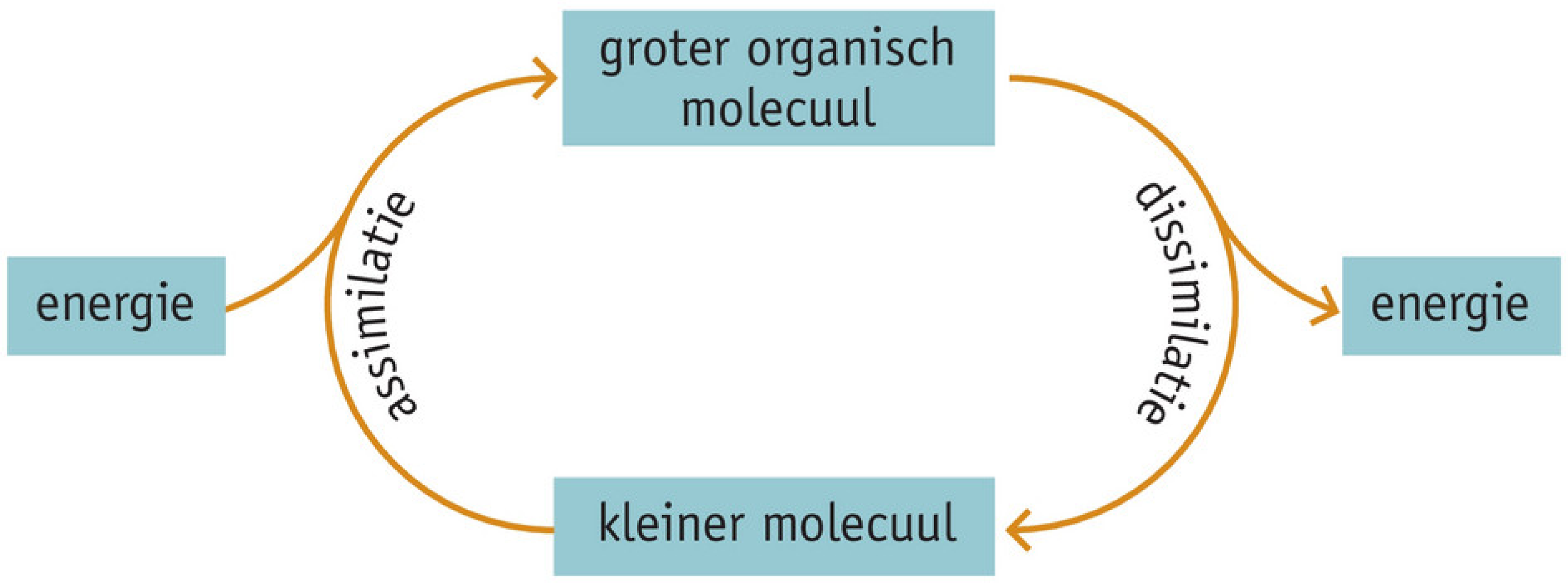
▼ **Afb. 2** Een molecuul melkzuur met één dubbele binding.



ASSIMILATIE EN DISSIMILATIE

Stofwisselingsprocessen kun je indelen in assimilatie- en dissimilatieprocessen. **Assimilatie** is de opbouw van organische moleculen uit kleinere moleculen. **Dissimilatie** is de afbraak van grote organische moleculen tot kleinere moleculen. Voor assimilatie is energie nodig, bij dissimilatie komt energie beschikbaar (zie afbeelding 3).

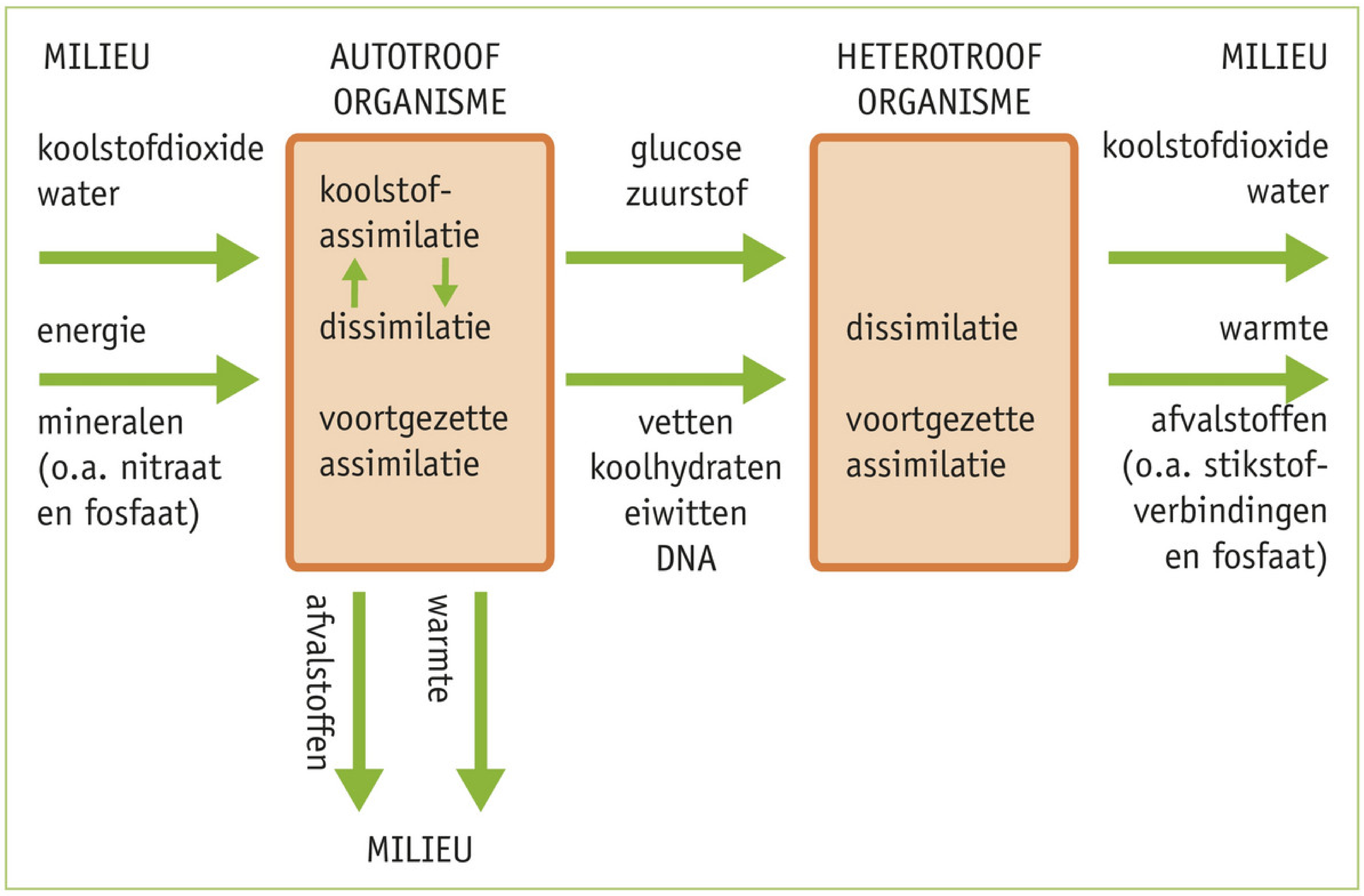
▶ **Afb. 3** Assimilatie en dissimilatie.



De vorming van glucose uit koolstofdioxide en water noem je **koolstofassimilatie**. Alleen autotrofe organismen zijn in staat tot koolstofassimilatie. Bij de **fotosynthese** gebruiken planten en cyanobacteriën de energie uit licht voor de vorming van glucose. De organische stof glucose is vervolgens de grondstof voor andere koolhydraten, vetten, eiwitten en DNA. De vorming van deze stoffen uit glucose is de **voortgezette assimilatie**.

Bij voortgezette assimilatie ontstaan grote organische moleculen met energierijke bindingen. Door dissimilatie (verbranding) komt die energie beschikbaar voor celprocessen, zoals assimilatie of transport van stoffen. Voortgezette assimilatie en dissimilatie vinden plaats in autotrofe en in heterotrofe organismen (zie afbeelding 4).

▶ **Afb. 4** Stofwisseling in cellen.



opdrachten

1 **a** Noteer drie verschillen tussen organische en anorganische stoffen.
b Wat is de functie van assimilatie? En van dissimilatie?
c Leg uit dat organismen die in staat zijn tot koolstofassimilatie, autotroof worden genoemd.

2 Bij de energieomzettingen in een individu wordt niet alle energie omgezet in chemische energie.
a Welke vorm van energie ontstaat naast de chemische energie?
b Is dit ‘energieverlies’?

3 Wat gebeurt er met het gewicht van een individu waarbij in de cellen meer assimilatie plaatsvindt dan dissimilatie? Leg je antwoord uit.

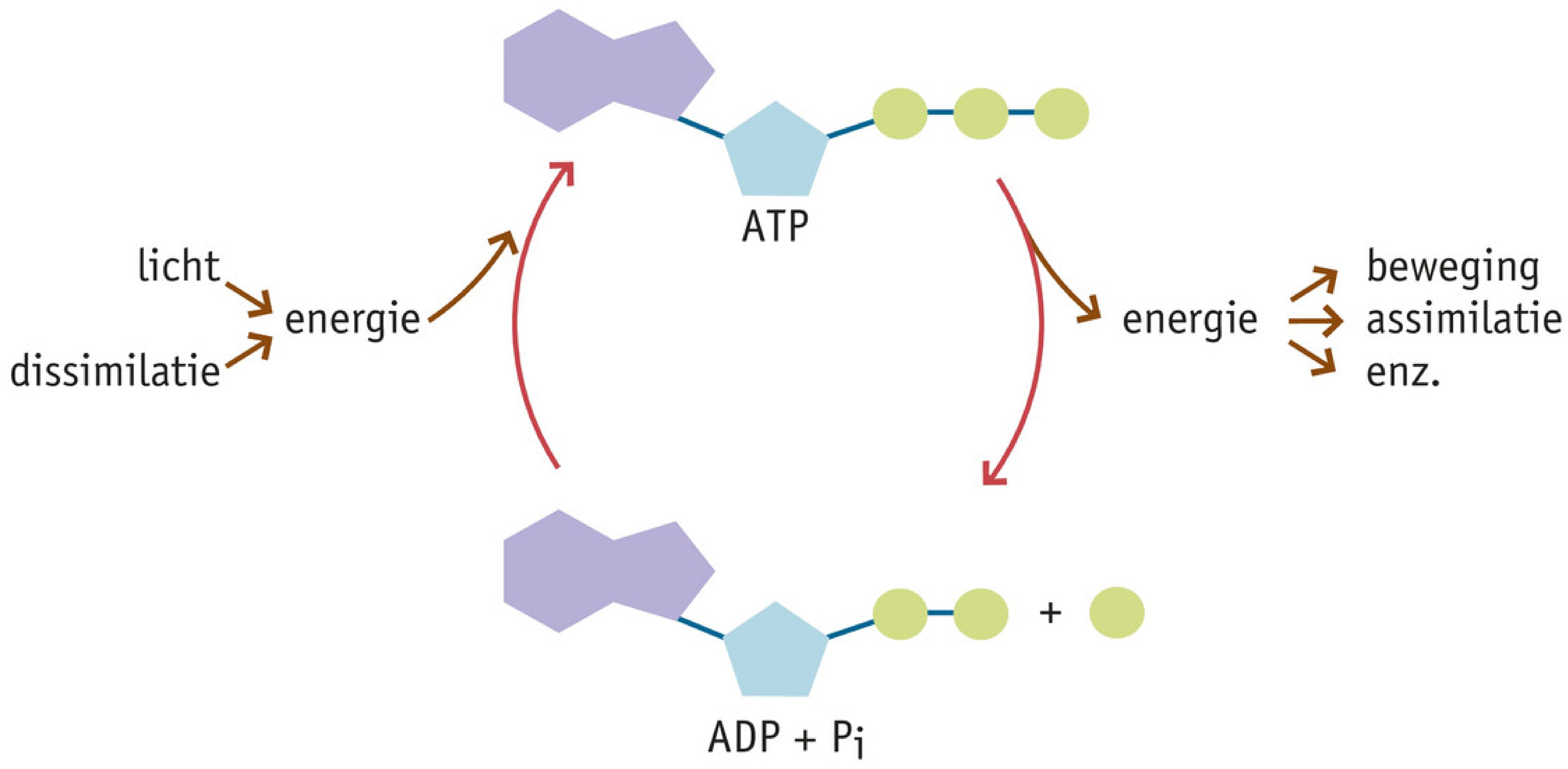
4 In de urine van mensen komt ureum (CH_4N_2O) voor.
Uit welke soorten atomen bestaat een ureummolecuul?

5 Noteer welke van de volgende stoffen organisch zijn: *cellulose – glucose – ijzer – kalk – koolstofdioxide – palmolie (een vet) – pepsine (een eiwit) – stikstof – vitamine C – water – zetmeel – zuurstof*.

ENERGIETRANSPORT

Cellen delen, groeien en zorgen voor levensprocessen zoals beweging, transport en afscheiding van stoffen. Daarvoor hebben cellen energie nodig. Moleculen van de stof **ATP** (**adenosinetrifosfaat**) transporteren chemische energie naar plaatsen in de cel waar energie nodig is (zie afbeelding 5).
ATP bevat drie fosfaatgroepen. In de bindingen tussen de fosfaatgroepen is veel chemische energie vastgelegd. Wanneer de derde fosfaatgroep van ATP wordt afgesplitst, ontstaat **ADP** (**adenosinedifosfaat**). De energie die door de afsplitsing beschikbaar komt, wordt overgedragen aan stofwisselingsreacties en processen in de cel, bijvoorbeeld eiwitsynthese of actief transport over membranen.

Afb. 5 Energietransport met behulp van ATP.



Door binding van een fosfaatgroep aan ADP ontstaat energierijk ATP. ATP wordt gevormd in bladgroenkorrels bij de fotosynthese en in mitochondriën bij de verbranding. Daarbij worden lichtenergie of chemische energie uit glucose, die voor de cel onbruikbaar zijn, omgezet in de chemische energie van ATP.

opdracht

6 Bij assimilatie en dissimilatie worden vormen van energie omgezet in andere vormen.
- a Welke energieomzetting vindt plaats bij fotosynthese?
- b Welke energieomzettingen vinden achtereenvolgens plaats als zonne-energie wordt gebruikt voor de vorming van een eiwit in een plant? Ga ervan uit dat de zonne-energie eerst wordt omgezet in glucose.
- c In welke organellen vinden deze energieomzettingen plaats?

CONTEXT Leefwereld

Nachtlicht

▼ **Afb. 6** Zeevonk geeft licht in de branding.



Bij een zomerse nachtwandeling langs het strand kun je soms de branding spectaculair blauwachtig zien oplichten (zie afbeelding 6). Dit wordt veroorzaakt door zeevonk (*Noctiluca scintillans*, letterlijk: flitsend nachtlichtje). De eencellige zeevonk voedt zich met plankton door fagocytose (opnemen van voedingsstoffen via instulpen van het celmembraan). Het blauwe licht ontstaat als het pigment luciferine met behulp van een enzym (luciferase) wordt omgezet in oxyluciferine. Bij deze omzetting zijn zuurstof en ATP nodig. Het verschijnsel komt vooral voor als het water in beweging is.
Bioluminescentie komt veel voor bij diepzeedieren. Zij gebruiken het onder andere om prooien te lokken of om sekspartners te vinden. Een bekend voorbeeld is de diepzeehengelvis. Deze roofvis lokt prooien naar zijn bek met een soort hengel met aan het eind een bolletje lichtgevende bacteriën.

opdrachten

7 Zeevonk is heterotroof.
- a Waaruit blijkt dat?
- b Waarvoor is bij de omzetting van luciferine in oxyluciferine ATP nodig?

8 De energie voor bioluminescentie is uiteindelijk afkomstig van de zon.
- a Geef de energieomzettingen die plaatsvinden van zonlicht tot en met het licht van bioluminescentie.
- b Het blauw oplichten van de branding door zeevonk komt alleen in de zomer voor. Verklaar dat.

9 Bioluminescentie is in de evolutie minstens veertig keer onafhankelijk van elkaar ontstaan.
- a Vooral bij diepzeedieren komt bioluminescentie voor. Verklaar dat.
- b Leg uit hoe bioluminescentie bij zeevonk kan zijn ontstaan door een evolutionair proces.

10 Freek veronderstelt dat roofvissen hun prooi beter kunnen zien met behulp van het licht van de zeevonk. Hij beschikt over inktvissen, voldoende garnalen als prooi, zeevonk en twee grote aquariumbakken met zeewater.
- a Beschrijf de proefopstelling waarmee Freek zijn hypothese kan testen.
- b Wanneer is de hypothese bevestigd?

Leerdoelen
- Je kunt de bouw en werking van enzymen beschrijven.
- Je kunt de invloed van milieufactoren op de enzymactiviteit beschrijven.

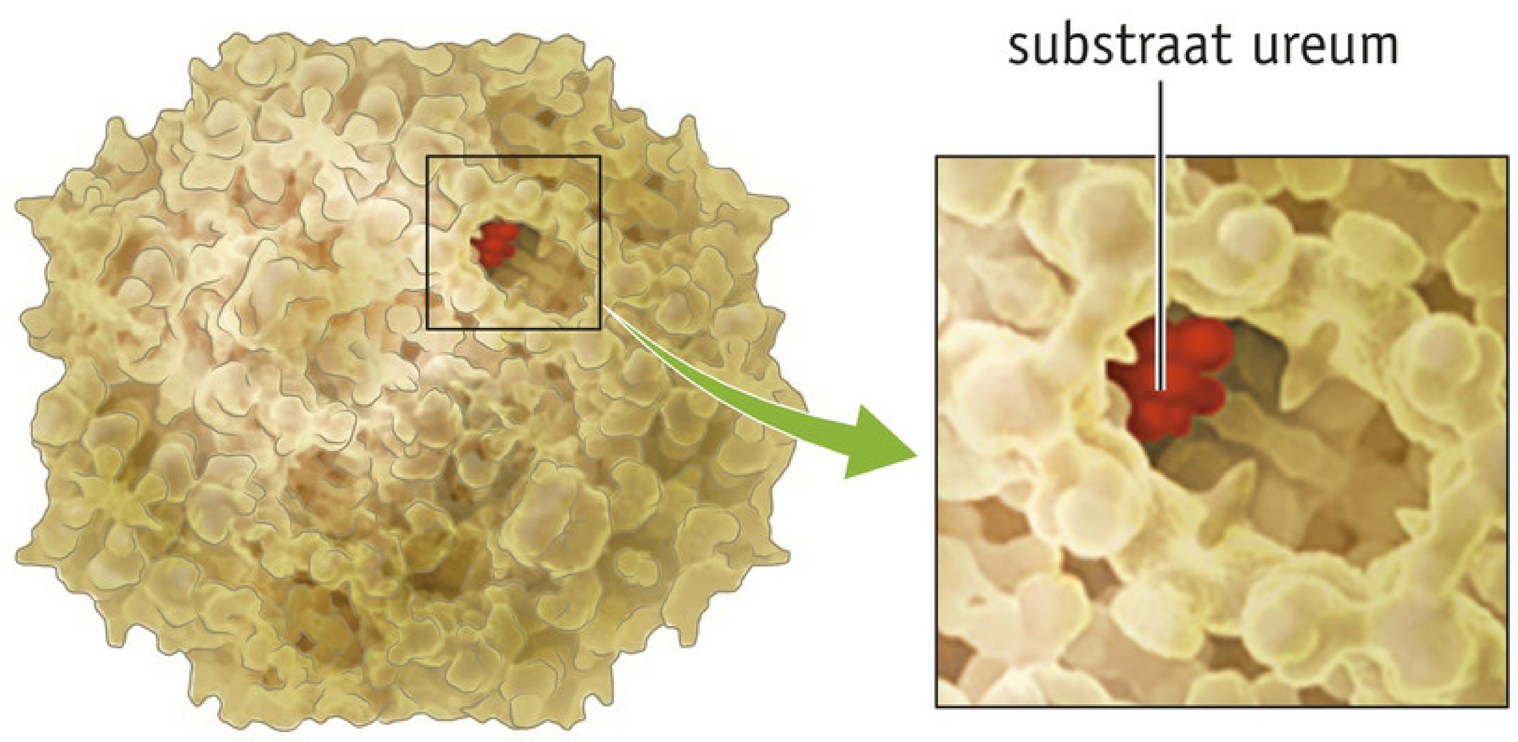
2 Enzymen

In cellen worden stoffen en energie omgezet. Elke omzetting vereist een eigen stukje gereedschap, een enzym, dat de omzetting vergemakkelijkt.

BOUW EN WERKING

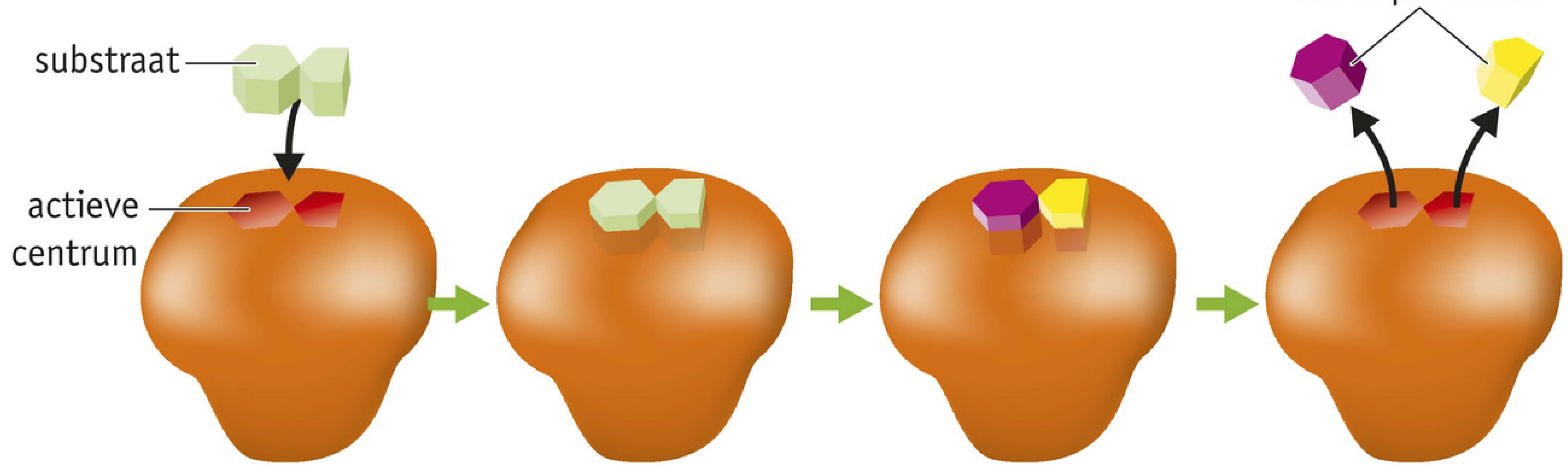
In cellen worden voortdurend stoffen opgebouwd en afgebroken. Deze omzettingen verlopen meestal niet vanzelf of slechts zeer traag. **Enzymen** zijn eiwitten die chemische omzettingen katalyseren (mogelijk maken of versnellen). Daarbij worden de enzymen zelf niet verbruikt.
Een enzymmolecuul heeft een ruimtelijke vorm met veel knikken en lussen. Het deel van het molecuul waar de reactie plaatsvindt, heet het **actieve centrum**. Dit deel heeft een specifieke ruimtelijke structuur, waar het substraatmolecuul precies in past (zie afbeelding 7). Het **substraat** is de stof waarop een enzym inwerkt. Zodra een substraatmolecuul aan het actieve centrum bindt, vindt de reactie plaats.

Afb. 7 Deel van het enzymmolecuul urease met het actieve centrum.

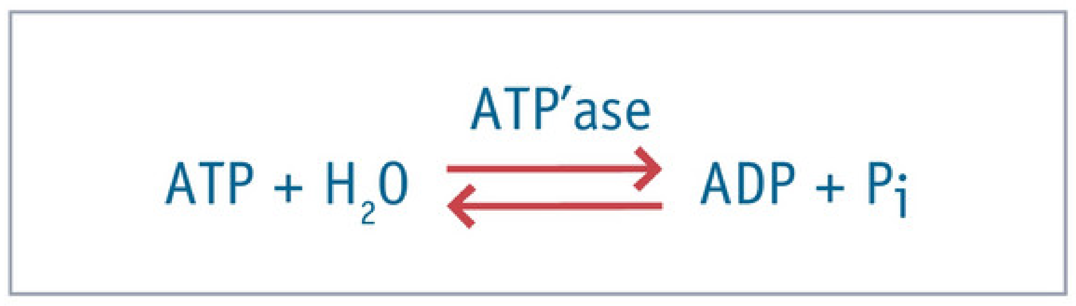


In het substraatmolecuul worden bindingen tussen atomen verbroken en komen bindingen tussen andere atomen tot stand. De stoffen die bij een reactie ontstaan, noem je de **reactieproducten** (zie afbeelding 8). Na de reactie laten de ontstane moleculen los van het actieve centrum en kan een volgende reactie plaatsvinden. Het enzymmolecuul is na de reactie niet veranderd en kan zich weer binden aan een volgend substraatmolecuul. Eén enzymmolecuul maakt dus vele malen dezelfde reactie mogelijk. Daardoor zijn enzymen al in kleine hoeveelheden werkzaam. Eén molecuul van het enzym urease bijvoorbeeld kan bij kamertemperatuur per seconde tienduizend ureummoleculen omzetten.

Afb. 8 De werking van een enzym.



▼ **Afb. 9** Enzymatische evenwichtsreactie met ATP'ase.



De naam van een enzym is vaak samengesteld uit de naam van het substraat en het achtervoegsel -ase. Het enzym ATP'ase bijvoorbeeld bewerkt het substraat ATP tot de reactieproducten ADP en fosfaat (zie afbeelding 9). Zoals veel enzymatische reacties kan deze reactie in twee richtingen verlopen. In de reactievergelijking wordt dit weergegeven met een dubbele pijl. De naam van het enzym wordt boven de pijl(en) gezet.

▶▶ PRACTICUMOPDRACHT 1

opdrachten

11 Elk enzym katalyseert een specifieke reactie.
- **a** Hoe wordt de naam van een enzym gewoonlijk afgeleid?
- **b** Leg uit waardoor in een cel een kleine hoeveelheid van een bepaald enzym voldoet.
- **c** Bij de werking van enzymen geldt het sleutel-slotprincipe. Wat wordt hiermee bedoeld?

12 Een onderzoeker doet in een reageerbuis een sacharoseoplossing (suikerwater) en een sacharaseoplossing. Na enige tijd onderzoekt hij welke stoffen zich in de reageerbuis bevinden.
Welk eiwit treft hij aan?

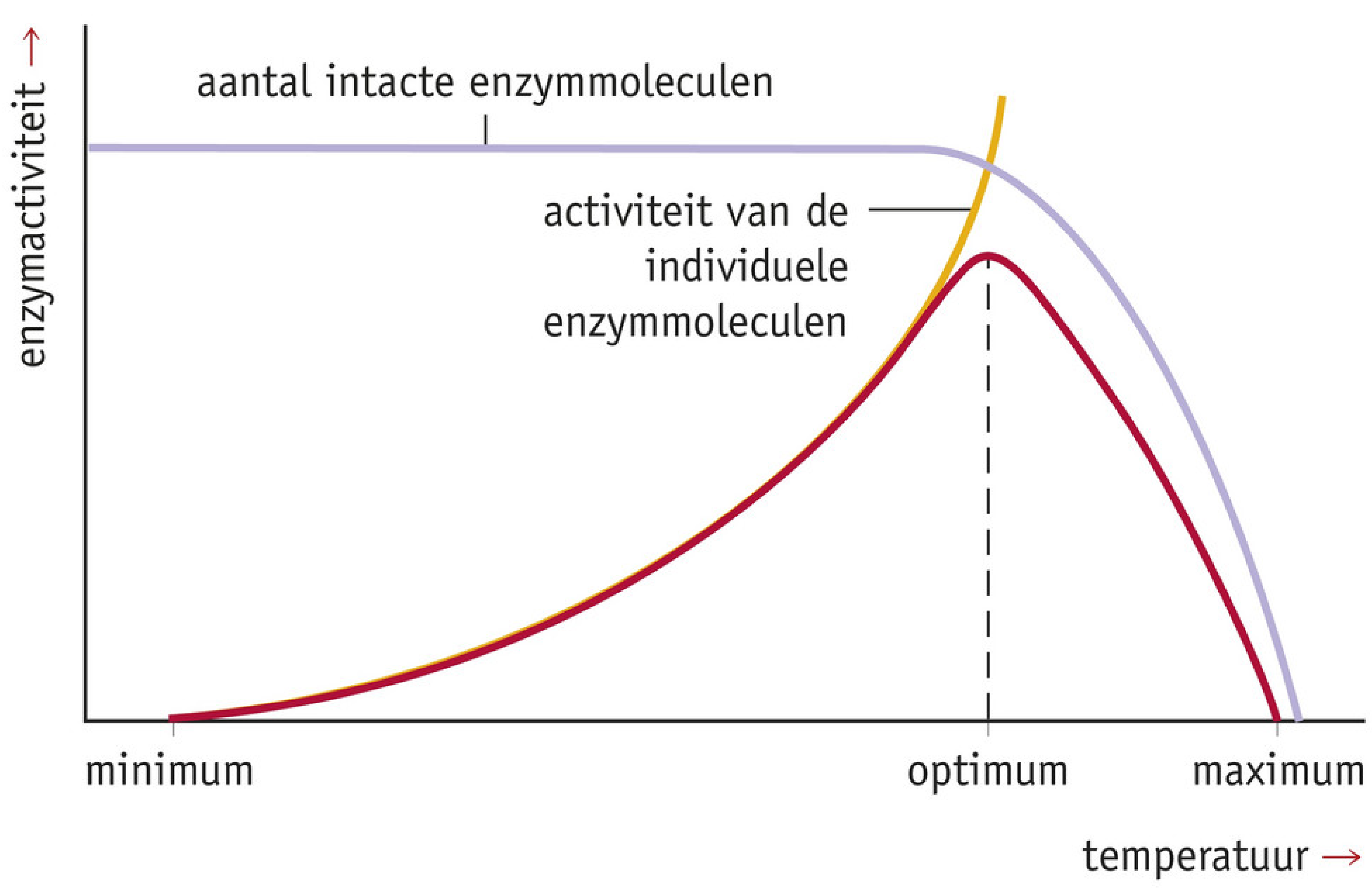
13 Enzymen worden ook wel biokatalysatoren genoemd. Leg dat uit.

INVLOED VAN DE TEMPERATUUR

De **enzymactiviteit** is de mate waarin een enzym een reactie versnelt. De enzymactiviteit kun je bepalen door te meten hoeveel substraat per tijdseenheid wordt omgezet. De enzymactiviteit wordt beïnvloed door de temperatuur en door de zuurgraad (pH).

In afbeelding 10 is het verband tussen de temperatuur en de enzymactiviteit weergegeven. Onder de minimumtemperatuur is er geen enzymactiviteit. De beweging van de moleculen is dan te traag. Bij stijging van de temperatuur neemt de enzymactiviteit aanvankelijk toe, doordat bindingen tussen enzymmoleculen en substraatmoleculen gemakkelijker tot stand komen. Bij nóg verdere verhoging van de temperatuur gaan de moleculen zó heftig bewegen dat de ruimtelijke structuur van de enzymmoleculen verandert. Daardoor past het substraat niet meer in het actieve centrum.

▶ **Afb. 10** Het verband tussen de temperatuur en de enzymactiviteit.



Hoe hoger de temperatuur, hoe minder intacte enzymmoleculen er overblijven. Boven de maximumtemperatuur hebben alle enzymmoleculen hun specifieke ruimtelijke structuur verloren. Dit proces is onomkeerbaar: de enzymmoleculen krijgen na afkoeling niet meer hun oorspronkelijke vorm terug. Je kunt het vergelijken met de eiwitten in een gekookt ei, die na afkoeling niet meer vloeibaar worden. Bij zoogdieren verliezen de meeste enzymen boven 40 °C hun werkzaamheid.

Het verband tussen de temperatuur en de enzymactiviteit is een optimumkromme. De temperatuur waarop het enzym actief wordt, is het minimum. Het optimum is de temperatuur waarbij de enzymactiviteit het grootst is. Het maximum is de temperatuur waarbij geen enzymactiviteit meer meetbaar is.

INVLOED VAN DE PH

Een oplossing die veel waterstofionen (H^+) bevat, is zuur. De **pH** (zuurgraad) is dan lager dan 7. Een oplossing die weinig waterstofionen bevat, is basisch. De pH is dan hoger dan 7. De activiteit van een enzym is afhankelijk van de pH van de oplossing waarin de omzetting plaatsvindt. De ruimtelijke structuur van een enzymmolecuul blijft intact bij een bepaalde zuurgraad: het optimum. Bij verhoging of verlaging van de pH verandert bij steeds meer enzymmoleculen het actieve centrum, waardoor het enzym zijn werking verliest. Deze verandering is omkeerbaar: bij de optimale pH krijgt het enzym de passende structuur weer terug.

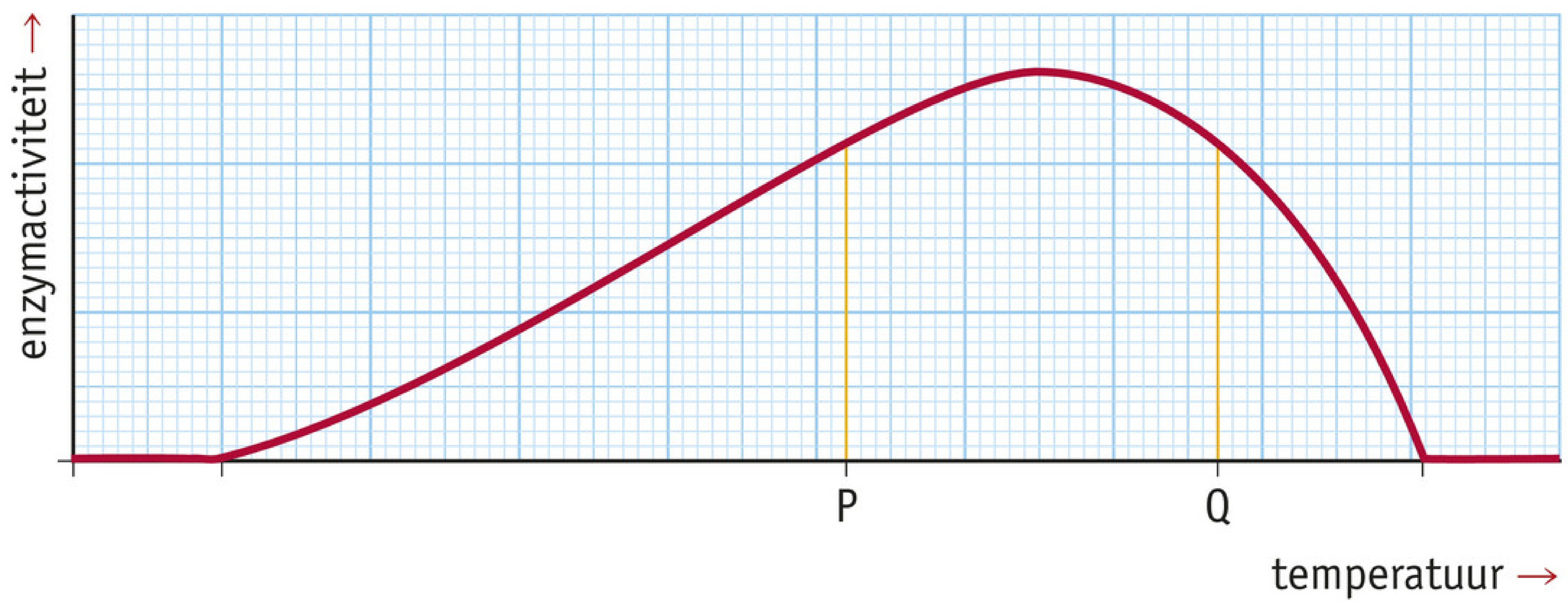
▶▶ PRACTICUMOPDRACHT 2

opdrachten

14 In afbeelding 11 is de optimumkromme van een bepaald enzym voor de temperatuur weergegeven.

a Bij temperatuur P wordt per tijdseenheid evenveel reactieproduct gevormd als bij temperatuur Q.
Bij welke van deze temperaturen zet een intact enzymmolecuul per minuut de grootste hoeveelheid substraat om? Leg je antwoord uit.

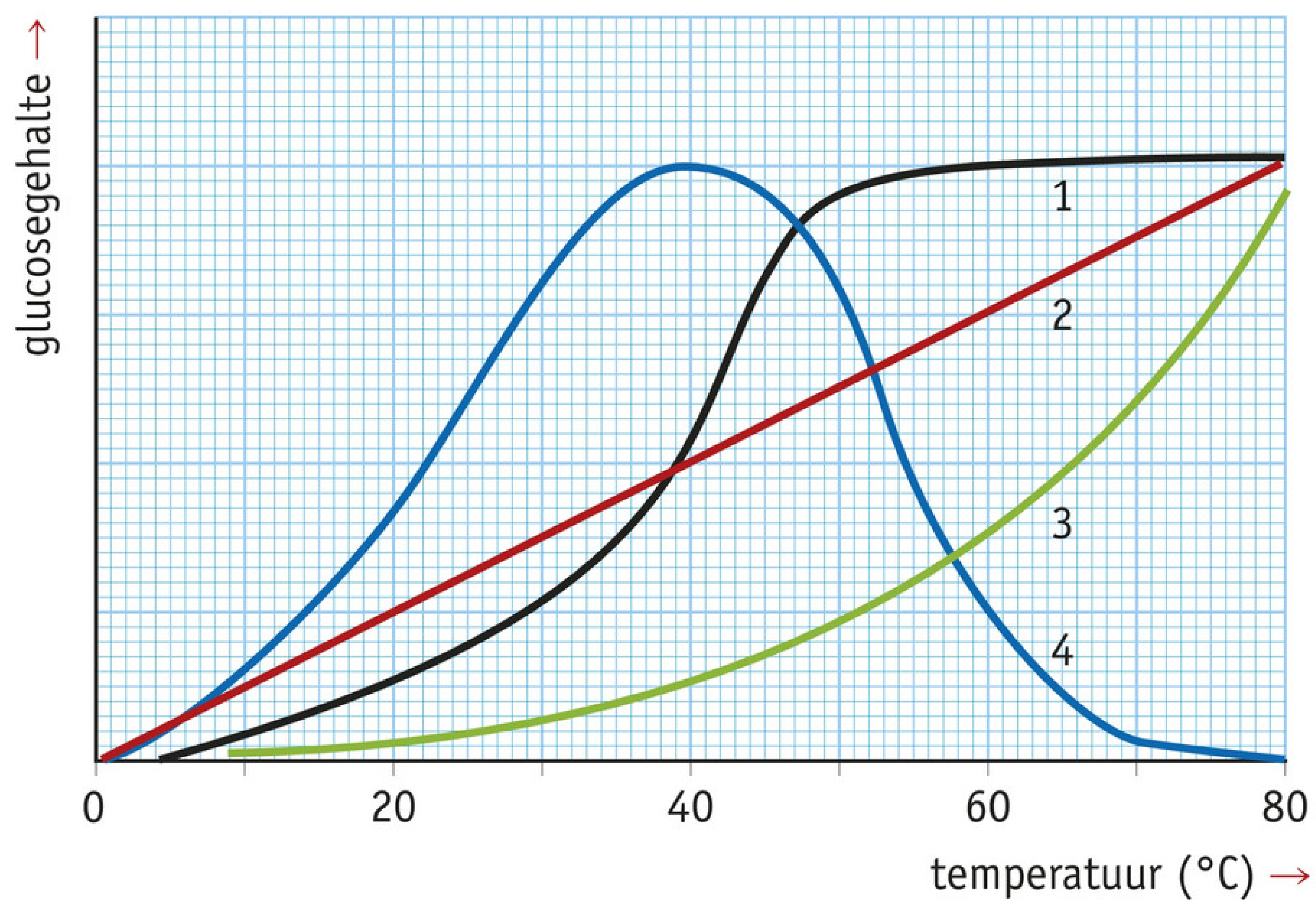
b Een laborante wil een hoeveelheid van dit enzym bewaren. Ze beschikt over een ruimte met temperatuur P, een ruimte met temperatuur Q en een ruimte met de voor dit enzym optimale temperatuur.
In welke van deze drie ruimten kan ze het enzym het best bewaren om zo veel mogelijk intacte enzymmoleculen over te houden? Leg je antwoord uit.



▶ **Afb. 11** Optimumkromme van een bepaald enzym voor de temperatuur.

15 Aan een reageerbuis gevuld met een maltoseoplossing van 0 °C wordt maltase toegevoegd dat afkomstig is van een zoogdier. Onder invloed van maltase wordt maltose omgezet in glucose. De inhoud van de reageerbuis wordt al roerend langzaam verwarmd tot 80 °C.
Welke grafiek in afbeelding 12 kan aangeven hoe het glucosegehalte in de buis verandert? Leg je antwoord uit.

▶ **Afb. 12** Glucosegehalte.



16 Biologische wasmiddelen bevatten enzymen.
- **a** Leg uit waarom bij het gebruik van deze wasmiddelen de temperatuur niet te hoog mag zijn.
- **b** Waardoor kan een kikker 's winters buiten niet actief zijn en een merel wel?
- **c** Waarom is koorts boven de 40 °C zo gevaarlijk voor mensen?

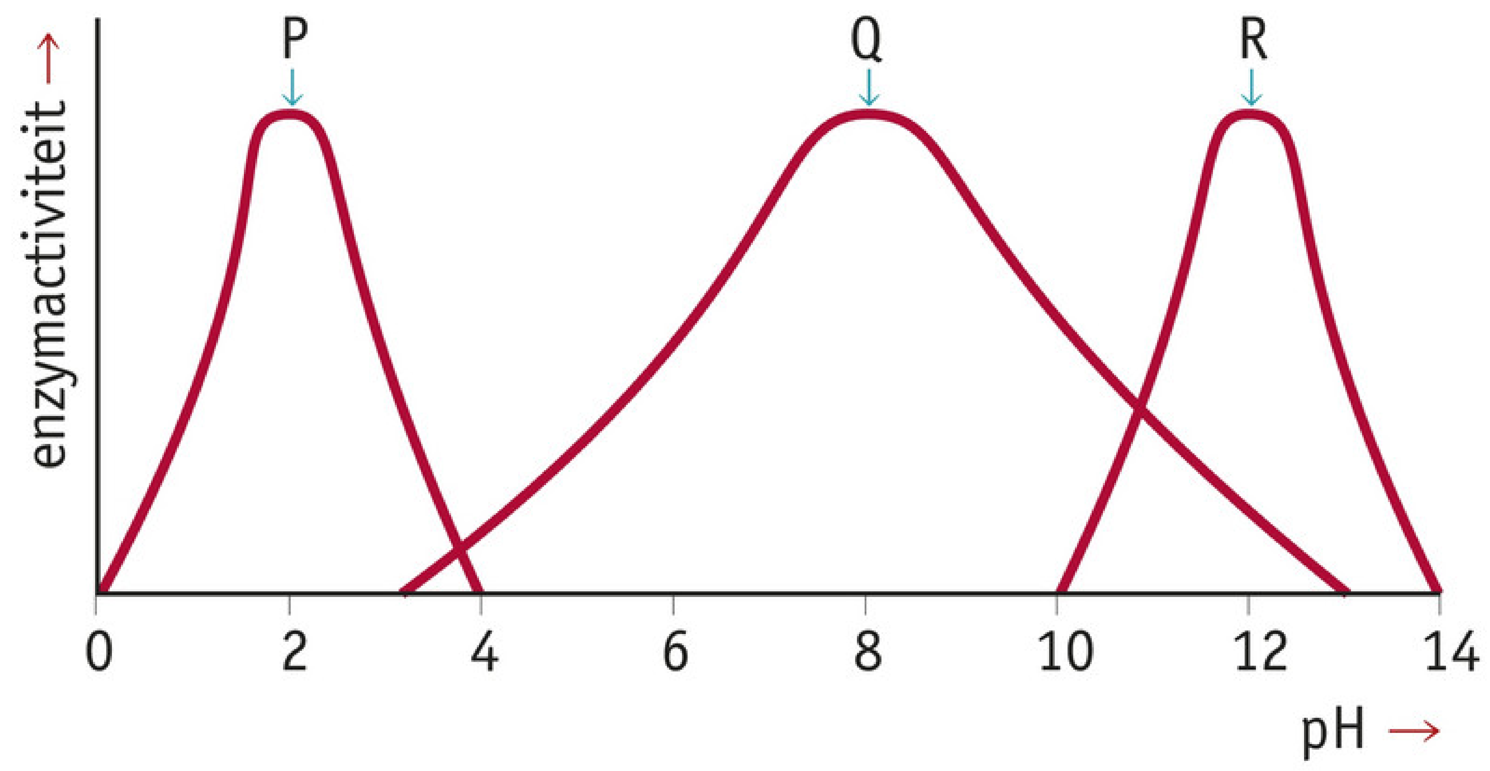
17 In afbeelding 13 zie je een onderzoek naar de werking van katalase bij verschillende temperaturen.
- **a** Welke conclusie kun je trekken uit het onderzoek van afbeelding 13?
- **b** Is het onderzoek voldoende betrouwbaar om deze conclusie te trekken?
- **c** Hoe kunnen de metingen betrouwbaarder worden?
- **d** Welke aanpassing kun je doen om dit onderzoek (meer) valide te maken?

▼ **Afb. 13**

ONDERZOEK	**DE INVLOED VAN DE TEMPERATUUR OP DE WERKING VAN KATALASE**
Inleiding	Katalase is een enzym dat waterstofperoxide omzet in water en zuurstofgas. Het komt voor in alle levende dierlijke en plantaardige cellen.
Onderzoeksvraag	Wat is de invloed van de temperatuur op de werking van katalase?
Hypothese	Katalase werkt het best bij lichaamstemperatuur (37 °C).
Experiment	– Zes reageerbuizen worden genummerd van 1 tot en met 6. In buis 1 tot en met 3 worden drie stukjes aardappel gedaan. In buis 4 tot en met 6 wordt 5 mL waterstofperoxideoplossing gedaan. – Buis 1 en 4 worden in het bekerglas met smeltende ijsblokjes gezet, buis 2 en 5 in een waterbad van 37 °C en buis 3 en 6 in een waterbad van 70 °C. De buizen blijven daar vijf minuten staan. – Na vijf minuten wordt het waterstofperoxide bij de stukjes aardappel gegoten. Daarna blijven de buizen weer vijf minuten staan bij de verschillende temperaturen. – De hoogte van het gevormde schuim in de reageerbuizen wordt gemeten.
Resultaat	In buis 2 ontstaat het meeste schuim.
Conclusie	

18 In afbeelding 14 is het verband tussen de pH en de enzymactiviteit van drie verschillende enzymen weergegeven.
a Wat is de maximum-pH van enzym Q?
b De zuurgraad van de omgeving daalt tot pH 5 en stijgt daarna weer tot pH 2. Is enzym P dan nog werkzaam? Leg je antwoord uit.

▶ **Afb. 14** Het verband tussen de pH en de activiteit van enzym P, Q en R.



CONTEXT Leefwereld

Helende honing

Honing is het ingedikte mengsel van plantennectar en verteringssappen van de honingbij. Honing stimuleert het immuunsysteem en is werkzaam tegen infecties bij brandwonden. Sommige mensen gebruiken het als gezichtsmasker (zie afbeelding 15). Honing heeft een remmend effect op de groei van wel zestig soorten bacteriën. Honing van de manukaboom (*Leptospermum scoparium*) blijkt zelfs remmend te werken op de methicillineresistente *Staphilococcus aureus* (de bekende, gevaarlijke MRSA-bacterie). De antibacteriële eigenschappen van honing worden toegeschreven aan de hoge osmotische waarde, de lage pH en vooral het gehalte aan waterstofperoxide. Dit wordt bepaald door de verhouding tussen het enzym glucoseoxidase, dat de bij uitscheidt, en katalase, afkomstig van plantenstuifmeel. Glucoseoxidase zet glucose om in gluconzuur en waterstofperoxide. Het gluconzuur creëert een zuur milieu en het waterstofperoxide werkt desinfecterend, waardoor de honing en ook de bijenkast bacterie- en schimmelvrij blijven. De peroxideactiviteit van honing kan teniet worden gedaan door verhitting of door katalase. De antibacteriële werking van verschillende honingsoorten kan hierdoor wel tot een factor 100 verschillen. Dus voordat je bij een infectie de honingvoorraad van de buurtsuper naar binnen slurpt: die huis-tuin-en-keukenhoning is niet bedrijfszeker als medicijn. Die is vooral lekker in de thee.

▼ **Afb. 15** Gezichtsmasker met honing.



Bronnen: Tahereh Eteraf-Oskouei & Moslem Najafi, *Traditional and Modern Uses of Natural Honey in Human Diseases* (2013) en Manisha Deb Mandal & Shyamapada Mandal, *Honey: its medicinal property and antibacterial activity* (2011).

opdrachten

19 Honing heeft een hoge osmotische waarde.
a Waardoor is de osmotische waarde van honing zo hoog?
b Verklaar de antibacteriële werking van de hoge osmotische waarde van de honing.
c Verklaar de brede werking van medicinale honing tegen verschillende bacteriesoorten.

20 Verhitting en katalase gaan de peroxideactiviteit van honing tegen. Leg dat uit.

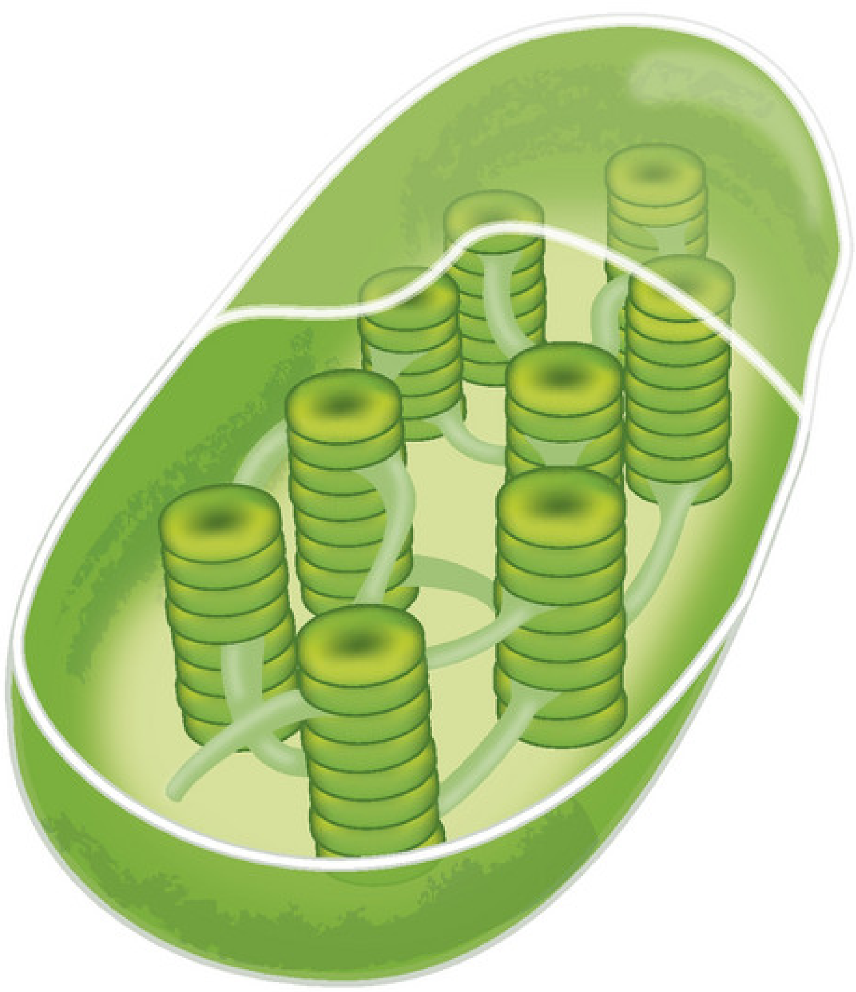
21 Waardoor is de werking van natuurlijke honing onvoorspelbaar?

Leerdoel
– Je kunt de fotosynthese beschrijven.

3 Fotosynthese

Planten hebben een soort zonnepaneeltjes om zonne-energie vast te leggen in suikermoleculen. Behalve suikers maken planten allerlei stoffen die voor ons als voedsel kunnen dienen. Wij lopen dus eigenlijk op zonne-energie.

▼ **Afb. 16** Een bladgroenkorrel.



ENERGIE
Planten, algen en sommige cyanobacteriën bevatten het pigment **bladgroen**. Daarmee zijn ze in staat om de energie uit licht om te zetten in de chemische energie van glucose. Bij planten bevindt het bladgroen zich in de **bladgroenkorrels** (zie afbeelding 16). Behalve bladgroen bevatten bladgroenkorrels ook enzymen die nodig zijn bij de fotosynthese.

Bladgroen kan energie uit licht absorberen (opnemen). De opgenomen lichtenergie wordt in de fotosynthese gebruikt om ATP te vormen en om water te splitsen in waterstof en zuurstof. De zuurstof wordt (deels) afgegeven aan de lucht. De waterstof en de chemische energie uit ATP worden, samen met koolstofdioxide, gebruikt voor de vorming van glucose.
Het reactieschema voor de fotosynthese is:

koolstofdioxide + water + lichtenergie → glucose + zuurstof

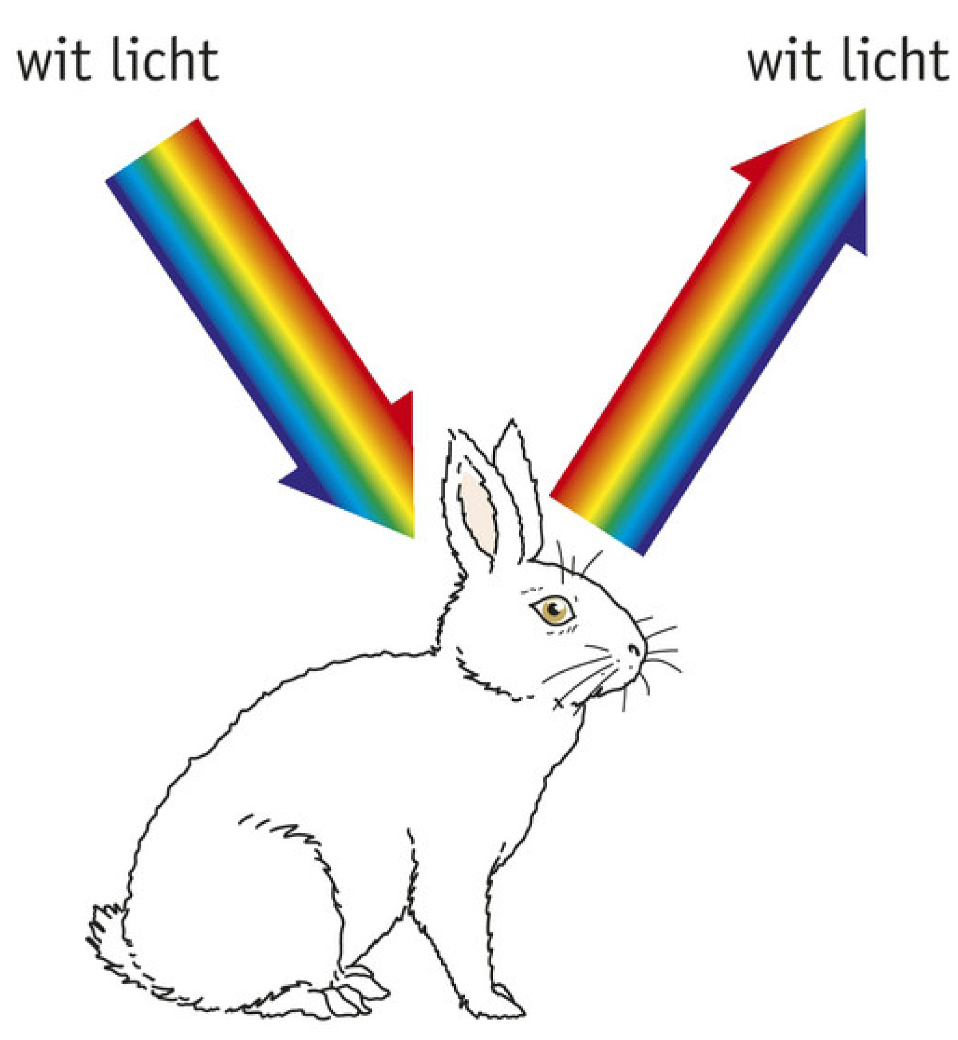
Fotosynthese kun je scheikundig weergeven met een reactievergelijking:

$6\ CO_2 + 6\ H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2$

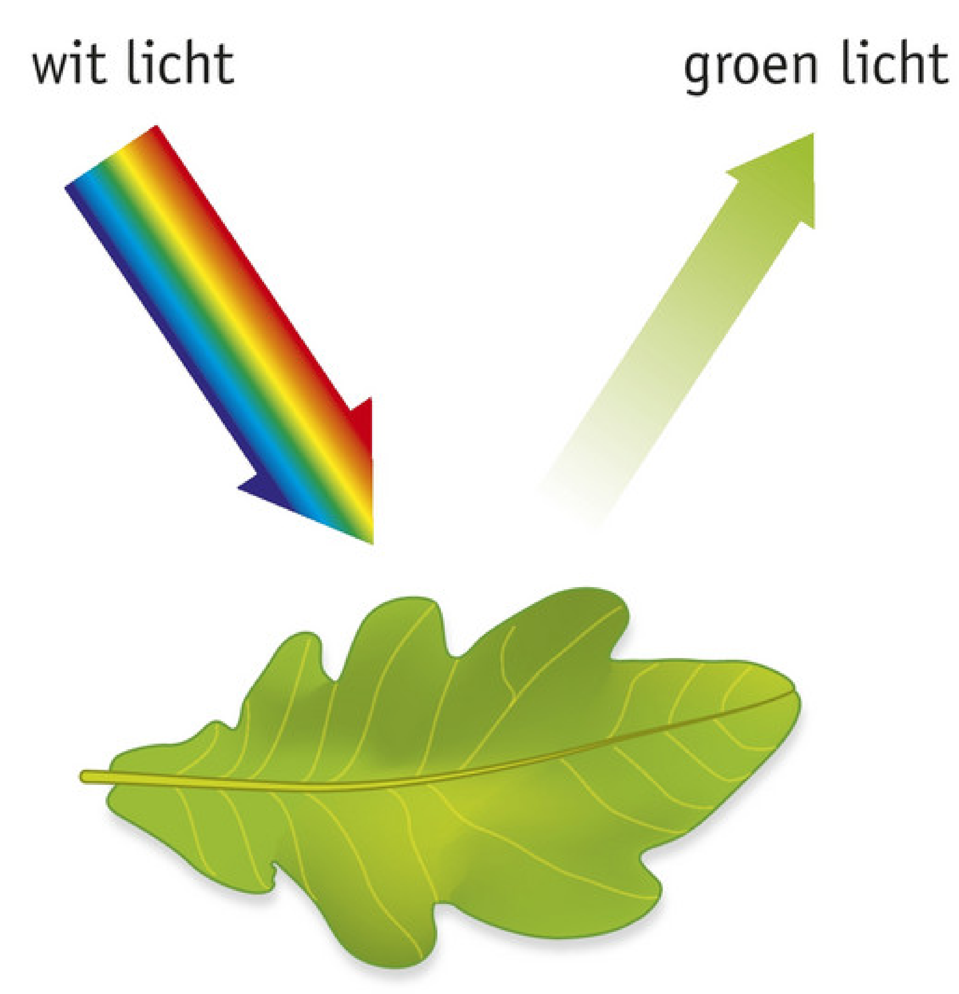
▶▶ PRACTICUMOPDRACHT 3

LICHT
Zonlicht of wit licht is een mengsel van alle kleuren licht (zie afbeelding 17). Een konijn met een vacht die alle kleuren reflecteert (terugkaatst), zien wij als wit.

▶ **Afb. 17** Absorptie en reflectie van licht.

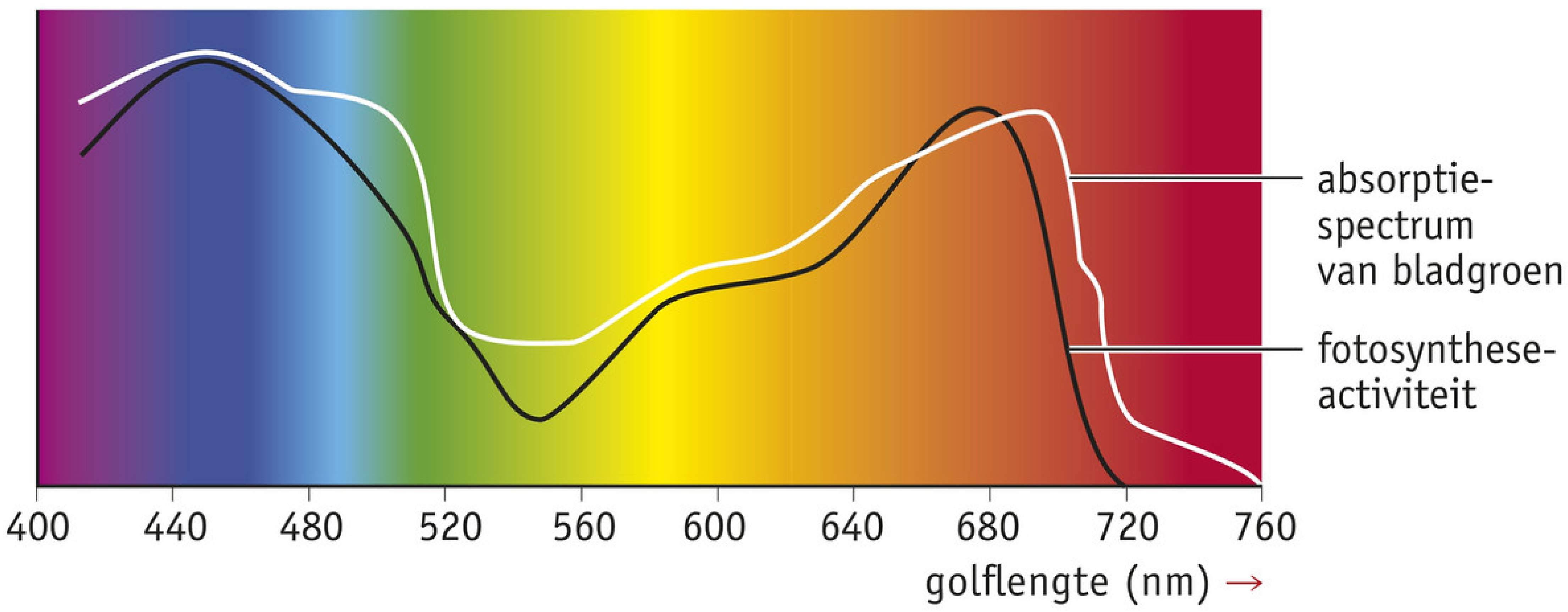


1 Alle golflengten worden gereflecteerd.



2 Groen licht wordt gereflecteerd, andere golflengten worden geabsorbeerd.

Als je licht met alle golflengten door een oplossing van bladgroen leidt, kun je bepalen welke golflengten licht het bladgroen absorbeert. Er ontstaat een absorptiespectrum (zie afbeelding 18). Daaraan kun je zien dat bladgroen bijna geen groen licht absorbeert. Het meeste groene licht wordt gereflecteerd. Daarom hebben planten voor ons een groene kleur.



Afb. 18 Absorptiespectrum van bladgroen en de fotosyntheseactiviteit bij verschillende golflengten.

opdrachten

22 In afbeelding 18 zie je het absorptiespectrum van bladgroen en de fotosyntheseactiviteit bij verschillende golflengten.

a Welke kleur licht wordt nauwelijks geabsorbeerd door bladgroen?

b Bij welke twee golflengten liggen de pieken in het absorptiespectrum van bladgroen?

c Bij welke twee golflengten liggen de pieken van de fotosyntheseactiviteit?

d Leg het verband uit tussen het absorptiespectrum en de naam ‘bladgroen’.

e Uit afbeelding 17 blijkt dat bladgroen licht met verschillende golflengten absorbeert.
Wat is daarvan het voordeel voor een plant?

23 Naast bladgroen bevatten bladgroenkorrels ook caroteen, een pigment met een gele tot rode kleur.
Welke stof wordt in de herfst in de bladeren het eerst afgebroken: bladgroen of caroteen? Leg je antwoord uit.

24 Drie potten bevatten water en een tak waterpest. Pot 1 staat onder een oranje lamp, pot 2 onder een violette lamp en pot 3 onder een groene lamp.

a In welke pot is de fotosyntheseactiviteit het hoogst? Leg je antwoord uit.

b In welke pot verbruikt de tak waterpest de kleinste hoeveelheid koolstofdioxide? Leg je antwoord uit.

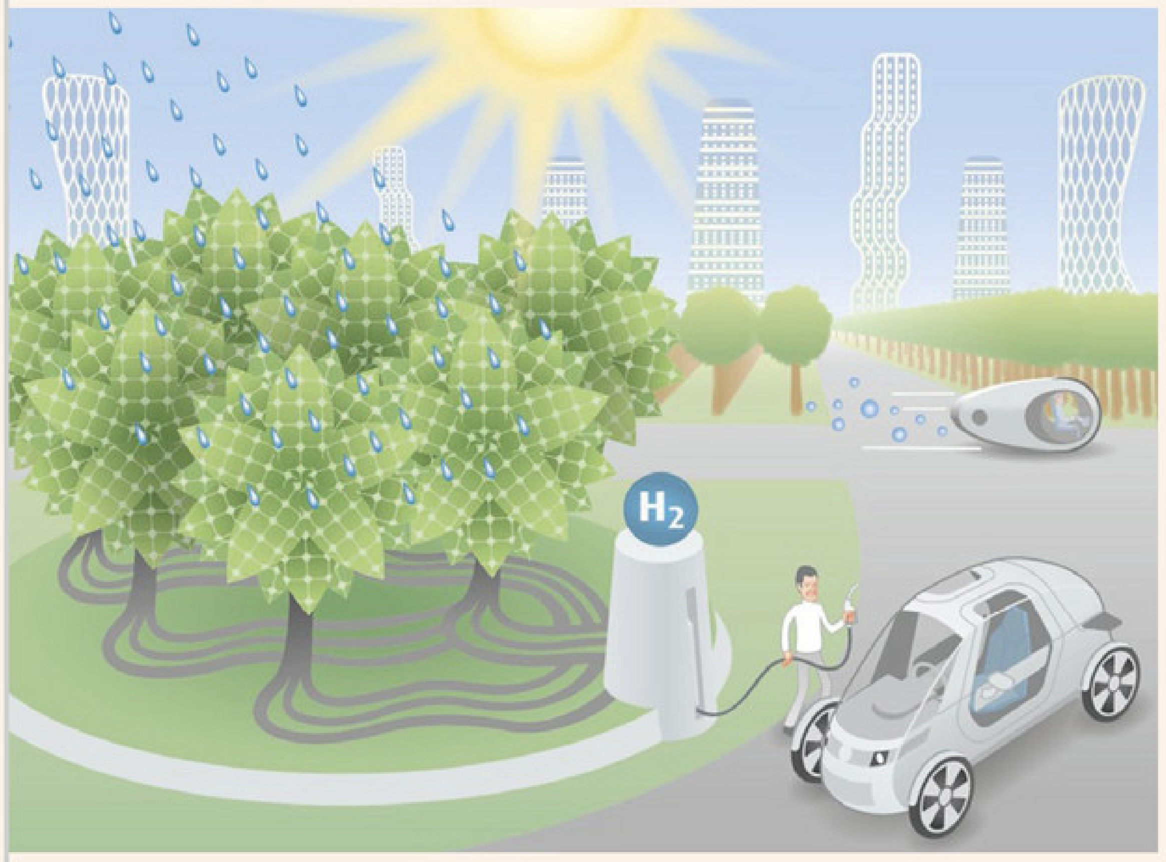
c In welke pot zullen de meeste gasbelletjes verschijnen? Leg je antwoord uit.

CONTEXT Wetenschap

Zon in je tank

In het Nederlandse project BioSolar Cells werken onderzoekers aan kunstmatige bladeren die een duurzame 'zonnebrandstof' kunnen opleveren. Net als echte planten moeten deze bladeren brandstof gaan maken uit niet meer dan zonlicht, water en CO_2.
De kunstmatige bladeren gebruiken energie uit zonlicht om water te splitsen in zuurstof en waterstof. Waterstofgas is een energierijke, schone brandstof. In zonrijke gebieden is het oppervlak van het dak van een garage met kunstmatige bladeren ongeveer genoeg om een waterstofauto van brandstof te voorzien (zie afbeelding 19). Waterstof en koolstofdioxide kunnen met behulp van kunstmatige fotosynthese worden omgezet in methanol. Die energierijke organische stof kan worden opgeslagen, vervoerd en gebruikt als brandstof als de zon niet schijnt.
Planten benutten maar een deel van het zonnespectrum. Ze hebben een rendement van niet meer dan 1 tot 2%. Kunstbladeren gebruiken een veel groter deel van het spectrum, waardoor ze een rendement kunnen halen van 20 tot misschien wel 40%.

▼ **Afb. 19** Zonnebrandstof heeft de toekomst.



opdrachten

25 De atmosfeer bestaat voor ongeveer 20% uit zuurstof.
Hoe is de concentratie van 20% zuurstof in de atmosfeer ontstaan?

26 Wat is het voordeel van chemische energie in organische stof vergeleken met lichtenergie van de zon?

27 a Zonnebrandstof is een duurzame brandstof. Leg dat uit.
b Leg uit dat de aarde te klein is om door natuurlijke fotosynthese te voldoen aan onze behoefte aan zowel voedsel als energie.

28 a Noteer vier overeenkomsten tussen natuurlijke en kunstmatige fotosynthese.
b Noteer twee voordelen van kunstmatige fotosynthese in vergelijking met natuurlijke fotosynthese.

29 Onderdelen van de ontwikkeling van het kunstblad worden gepatenteerd door onderzoeksinstituten. Dat betekent dat anderen er niet zomaar gebruik van mogen maken.
Vind je dat deze technieken het eigendom moeten zijn van enkele onderzoeksinstituten, of van iedereen? Licht je antwoord toe.

Leerdoel
– Je kunt de voortgezette assimilatie beschrijven.

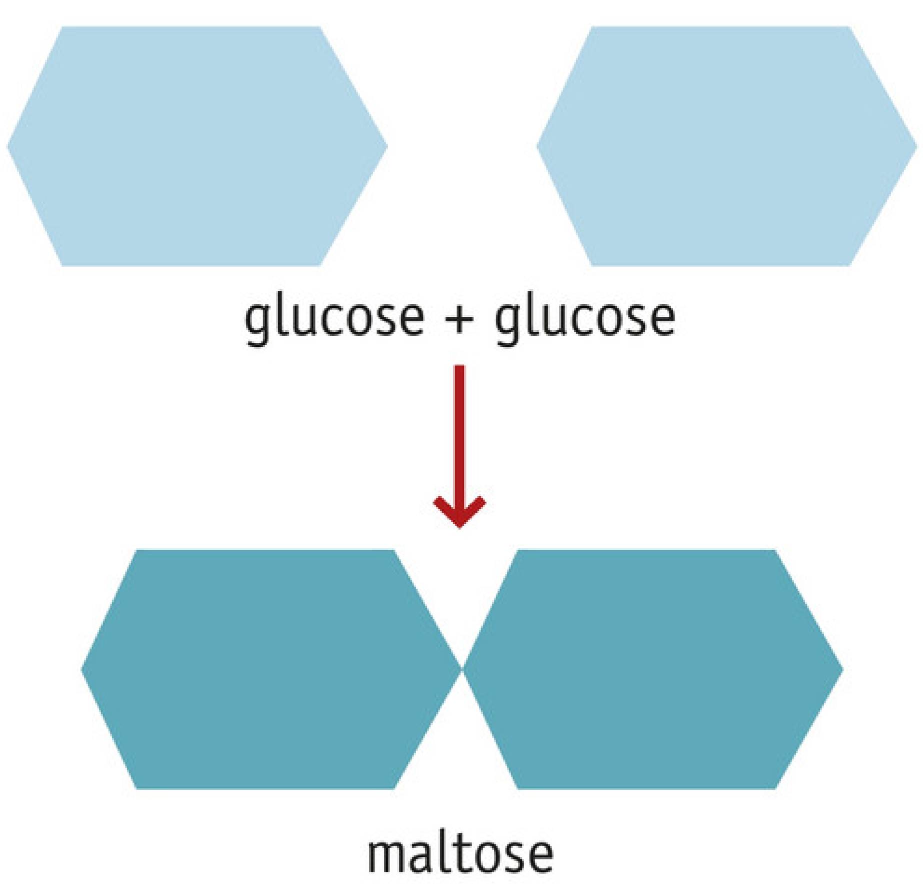
4 Voortgezette assimilatie

Cellen bestaan uit veel meer stoffen dan de glucose die is gevormd bij de koolstofassimilatie. In de voortgezette assimilatie worden reservevoorraden zetmeel, de vetten van membranen, vele eiwitten (zoals enzymen) en informatiedragers (DNA) gevormd.

Glucose als grondstof en brandstof

Autotrofe organismen gebruiken de glucose die ze maken als grondstof voor de vorming van andere organische stoffen. Dit is de voortgezette assimilatie. De belangrijkste groepen organische stoffen zijn koolhydraten, vetten en eiwitten. Ook heterotrofe organismen kunnen glucose omzetten, maar niet in eiwitten. Naast grondstof is glucose ook brandstof. Bij de verbranding van glucose wordt ATP gevormd. ATP levert de energie voor de voortgezette assimilatie.

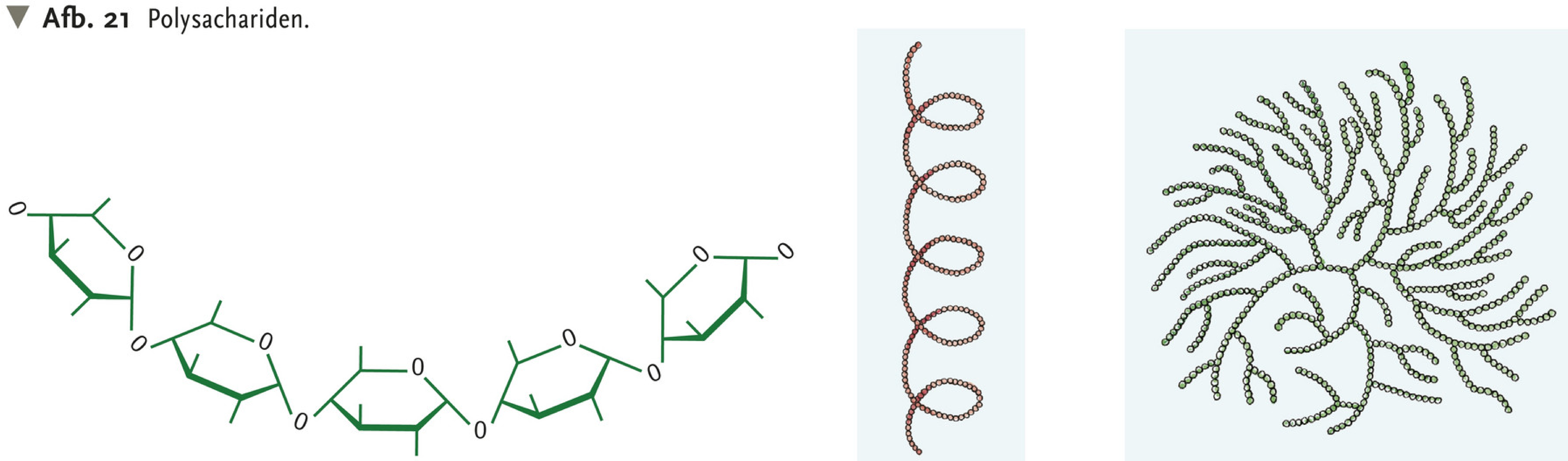
▼ **Afb. 20** De vorming van maltose uit twee glucosemoleculen (schematisch).



Koolhydraten

De moleculen van een koolhydraat, ook **sacharide** genoemd, zijn opgebouwd uit koolstof, waterstof en zuurstof. Koolhydraten hebben in de cel vooral een functie als bouwstof en (reserve)brandstof. Koolhydraten zijn in te delen in mono-, di- en polysachariden. **Monosachariden** (enkelvoudige suikers) bevatten vijf of zes C-atomen. Glucose is een monosacharide. De molecuulformule van glucose is $C_6H_{12}O_6$. Glucose is goed oplosbaar in water. Twee moleculen van monosachariden kunnen zich met elkaar verbinden tot een **disacharide** (een molecuul opgebouwd uit twee monosachariden). Twee glucosemoleculen bijvoorbeeld kunnen samen één molecuul maltose vormen (zie afbeelding 20). Andere disachariden zijn lactose (melksuiker) en sacharose (riet- of bietsuiker). Glucosemoleculen kunnen op deze manier lange ketens van monosachariden vormen. Deze noem je **polysachariden** (zie afbeelding 21.1). Een voorbeeld van een polysacharide is **zetmeel**. Dit molecuul wordt in de bladgroenkorrels en zetmeelkorrels van plantaardige cellen opgebouwd uit ongeveer zesduizend glucosemoleculen. De glucosemoleculen vormen bij de bindingsplaats een kleine hoek ten opzichte van elkaar. Doordat deze hoek bij elke bindingsplaats dezelfde kant op wijst, is een zetmeelmolecuul spiraalvormig (zie afbeelding 21.2). Door de grootte van de moleculen is zetmeel slecht oplosbaar in water. Bij dieren wordt in de lever en in spieren **glycogeen** gevormd. Een glycogeenmolecuul bestaat uit meer dan twintigduizend glucosemoleculen en is sterk vertakt (zie afbeelding 21.3). Zetmeel en glycogeen zijn reservebrandstoffen.

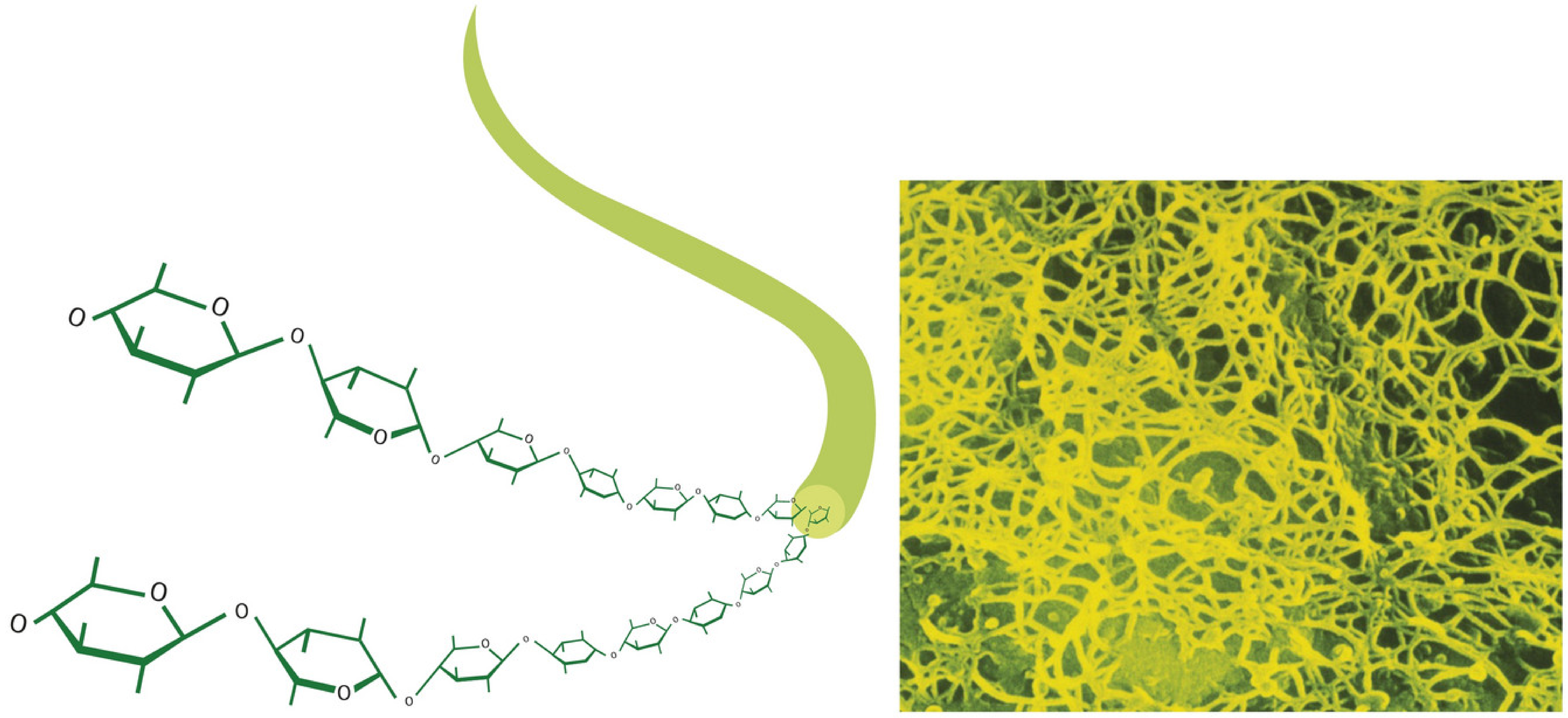
▼ **Afb. 21** Polysachariden.



1 deel van een zetmeelmolecuul
2 vorm van een zetmeelmolecuul
3 vorm van een glycogeenmolecuul

Een andere polysacharide is **cellulose**, het hoofdbestanddeel van de celwanden van planten (zie afbeelding 22). Doordat de hoek tussen de glucosemoleculen bij elke bindingsplaats de andere kant op wijst, ontstaat een lichte zigzagvorm. Enkele tientallen cellulosemoleculen vormen daardoor samen een stevige structuur.

▶ **Afb. 22** Cellulose.



1 opbouw van een stevige structuur uit meerdere cellulosemoleculen

2 deel van een celwand (EM-foto, vergroting 30 000×)

opdrachten

30 Welk stofwisselingsproces levert de benodigde energie voor de voortgezette assimilatie?

31 a Waaruit is een polysacharide opgebouwd?
b Wat is het verschil in ruimtelijke vorm tussen een zetmeelmolecuul en een glycogeenmolecuul?
c Waardoor heeft een celwand een stevige structuur?

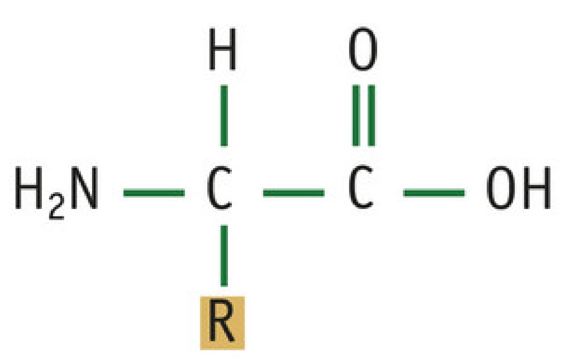
32 In bladcellen wordt de glucose die bij de fotosynthese is gevormd, vrijwel direct omgezet in zetmeel.
a Welk effect heeft dit op de osmotische waarde in de bladcellen?
b De koolhydraten die in bladeren worden gevormd, worden door de bastvaten naar andere plantendelen vervoerd. Zetmeel wordt daarbij eerst omgezet in sacharose.
Leg uit waarom dat noodzakelijk is.

33 Tijdens een sportwedstrijd heb je veel koolhydraten nodig die snel in het bloed kunnen worden opgenomen.
Welke koolhydraten kunnen dan het best in je voeding aanwezig zijn? Licht je antwoord toe.

EIWITTEN

Eiwitten (proteïnen) zijn ketens van enkele tientallen tot meer dan duizend aminozuren. Een **aminozuur** bevat een centraal C-atoom met daaraan gebonden een aminogroep (NH_2), een carboxygroep (COOH), een H-atoom, en een restgroep (R) die typerend is voor het aminozuur (zie afbeelding 23). In de restgroep kunnen onder andere stikstof en zwavel voorkomen.
In menselijke eiwitten komen twintig verschillende typen aminozuren voor.

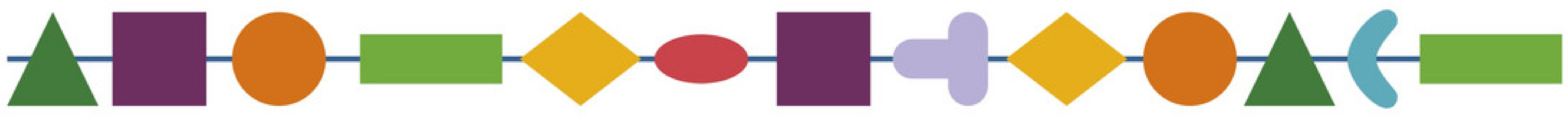
▼ **Afb. 23** De algemene structuur van aminozuren.



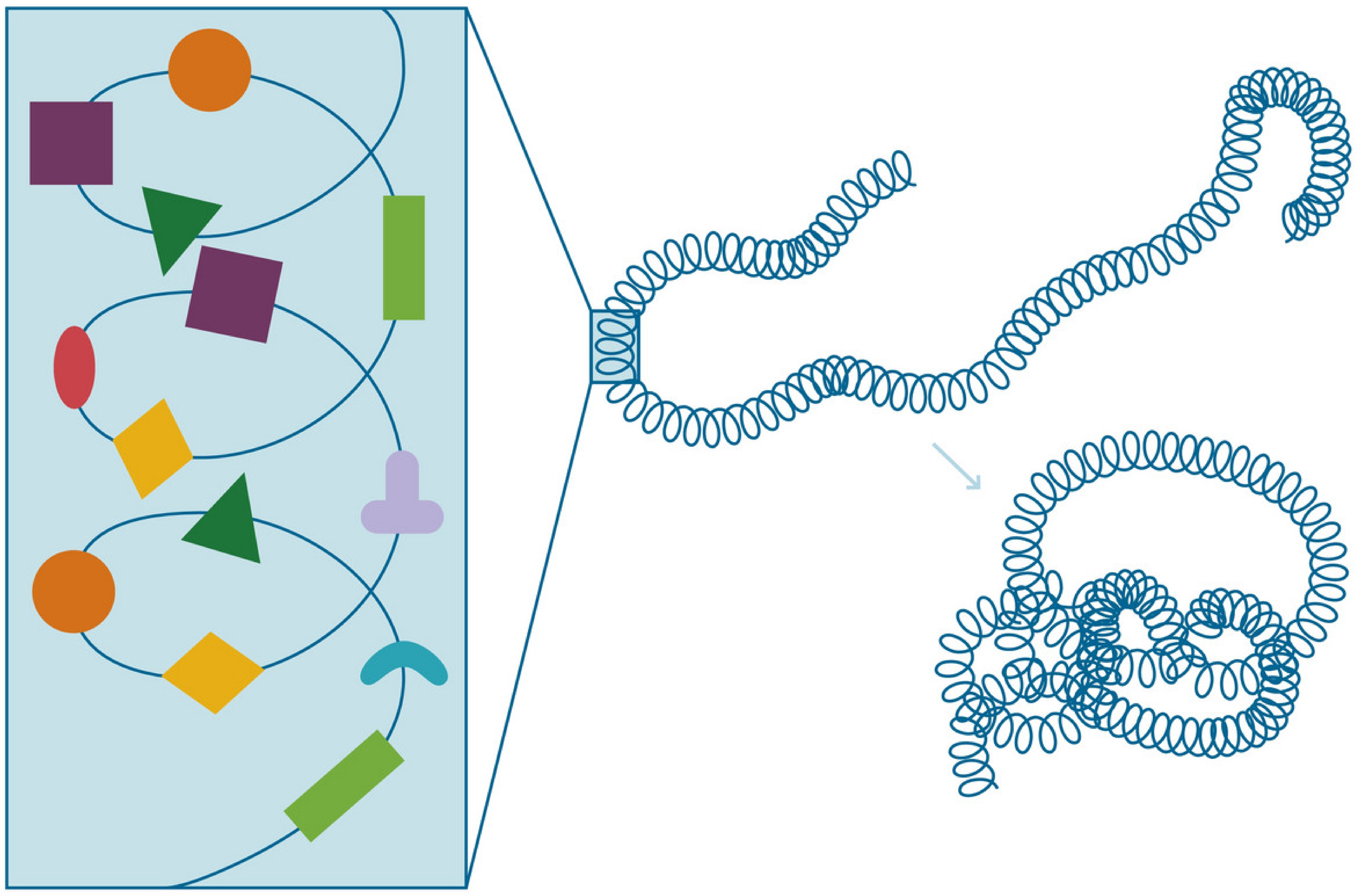
Planten zijn in staat aminozuren op te bouwen uit glucose en stikstofhoudende ionen, vooral uit nitraat (NO_3^-). Bij de opbouw van sommige aminozuren wordt ook sulfaat (SO_4^{2-}) gebruikt. De energie voor de opbouw van aminozuurmoleculen wordt geleverd door ATP. Dieren kunnen geen aminozuren opbouwen uit glucose. Ze zijn wel in staat een aantal aminozuren te vormen uit de aminozuren die ze met hun voedsel binnenkrijgen.

Alle organismen kunnen eiwitmoleculen vormen door aminozuren aan elkaar te koppelen. De ruimtelijke bouw van een eiwitmolecuul heeft verschillende niveaus (zie afbeelding 24). De **primaire structuur** van een eiwitmolecuul wordt bepaald door de typen aminozuren die erin voorkomen en de volgorde waarin deze aminozuren voorkomen.

▶ **Afb. 24** De ruimtelijke bouw van een eiwitmolecuul (schematisch).



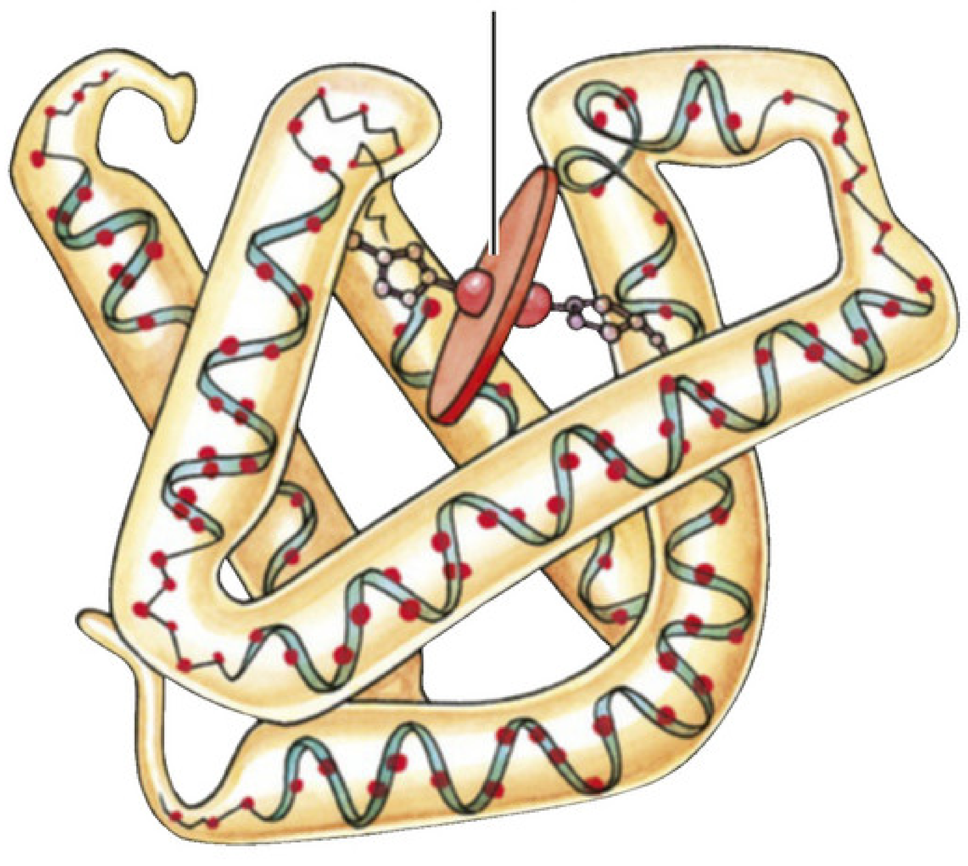
1 primaire structuur: de aminozuurvolgorde



2 secundaire structuur: de helixstructuur

De meeste aminozuren maken bij hun binding steeds een bepaalde hoek ten opzichte van elkaar. Hierdoor vertonen grote delen van een eiwitmolecuul een spiraalvorm. De spiraalvorm van een eiwit wordt de **secundaire structuur** of **helixstructuur** genoemd. Deze spiraal is zeer stabiel.
Door de specifieke ruimtelijke structuur kunnen verschillende eiwitten heel verschillende functies hebben, bijvoorbeeld als enzymen, als bouwstoffen in het cytoplasma of als transportenzymen in membranen.

▼ **Afb. 25** De structuur van een myoglobinemolecuul.



opdrachten

34 Welke elementen komen wel voor in eiwitten maar niet in koolhydraten?

35 Myoglobine is een eiwit dat in spieren voorkomt en zuurstof kan binden. In afbeelding 25 is de structuur van een myoglobinemolecuul weergegeven.

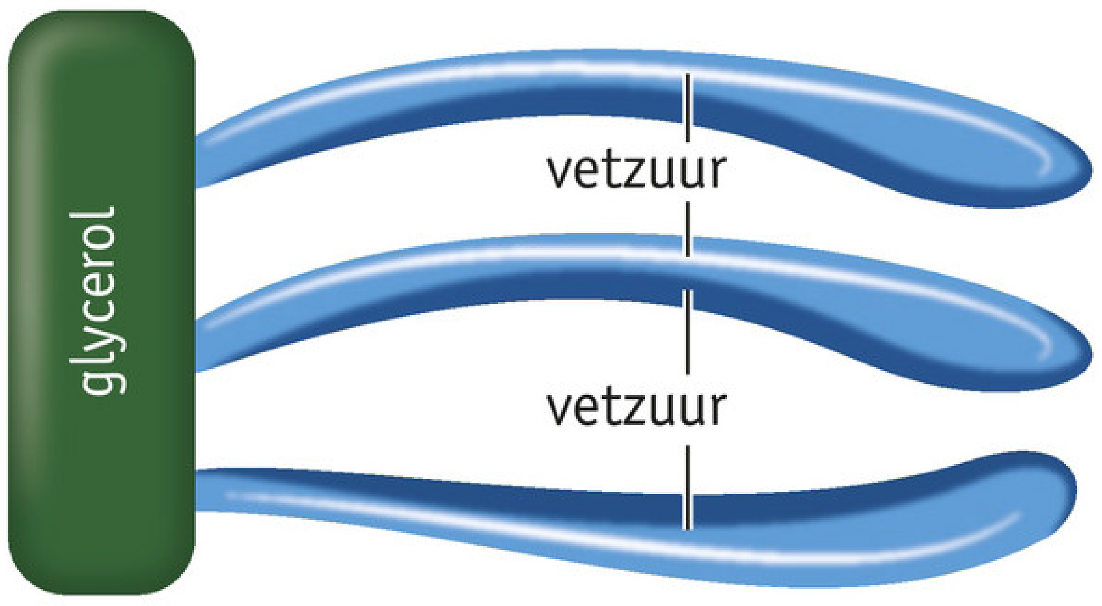
a Hoe wordt in de afbeelding de primaire structuur weergegeven?

b Hoe wordt de secundaire structuur weergegeven?

VETTEN

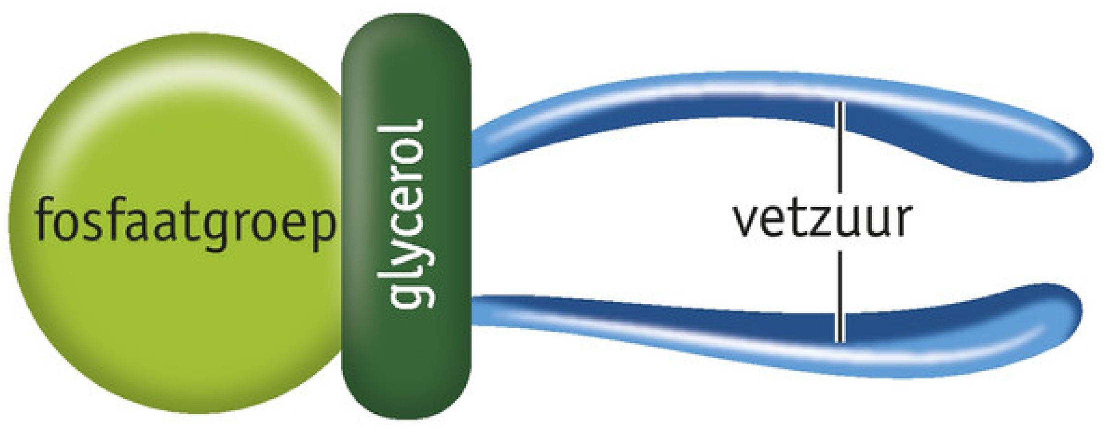
Er zijn verschillende soorten vetten, zoals cholesterol en olijfolie. Vetten worden ook wel lipiden genoemd. Vetmoleculen bevatten dezelfde elementen als glucosemoleculen (C, O en H). Vet lost niet op in water. Vetten in organismen dienen als bouwstof in membranen en als reservebrandstof. Ze hebben daarnaast een warmte-isolerende functie. Bij warmbloedige dieren worden vetten onder andere opgeslagen in het onderhuidse bindweefsel. Een overschot aan eiwitten en koolhydraten in de voeding kan worden omgezet in vet. De energiedichtheid van vet is erg groot. Vetten maken deel uit van sommige vitaminen, hormonen en cholesterol.

▼ **Afb. 26** De bouw van een triglyceridemolecuul (schematisch).



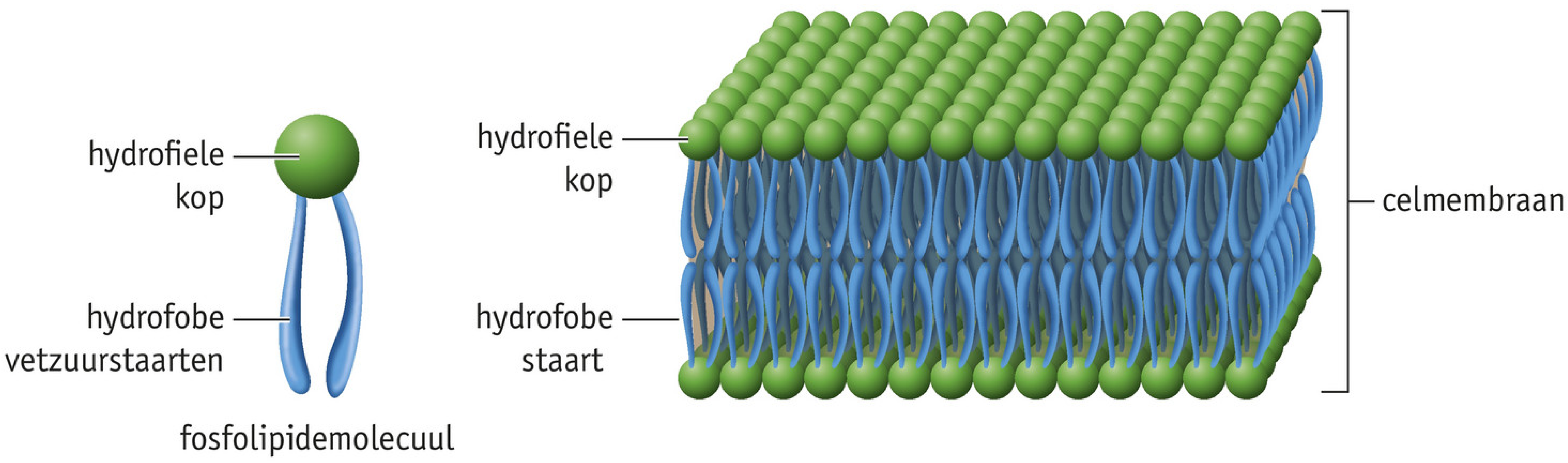
Veel vetten zijn **triglyceriden**. Een triglyceride wordt gevormd doordat drie vetzuurmoleculen zich binden aan een glycerolmolecuul (zie afbeelding 26). **Glycerol** bestaat uit drie C-atomen waaraan drie OH-groepen zijn gebonden. **Vetzuur** bestaat uit een lange keten van CH_2-groepen met aan het eind daarvan een carboxygroep (COOH).
Celmembranen bestaan grotendeels uit **fosfolipiden**. Bij een fosfolipide is één vetzuur van het triglyceride vervangen door een fosfaatgroep (zie afbeelding 27).

▼ **Afb. 27** Structuur van een fosfolipide.



Fosfolipiden hebben daardoor twee hydrofobe (waterafstotende) vetzuurstaarten en een hydrofiele (waterminnende) kop met een fosfaatgroep. Hierdoor vormen de fosfolipiden een dubbele laag moleculen, met de hydrofiele fosfaatgroepen aan de buitenzijde en de hydrofobe vetzuurstaarten naar elkaar toe aan de binnenzijde (zie afbeelding 28).

▼ **Afb. 28** Opbouw van een membraan uit fosfolipiden.



opdrachten

36 Zoek in *Binas* de molecuulformules van palmitinezuur (een vetzuur in palmolie) en van sacharose (tafelsuiker).
- **a** Tel het aantal C-atomen en het aantal C–H-verbindingen in de beide moleculen.
- **b** De energiedichtheid van vetten is veel groter dan die van koolhydraten. Geef hiervoor een verklaring.
- **c** Wat kun je op een trektocht het best meenemen voor je energievoorziening: chocolade of suikerhoudend snoep? Licht je antwoord toe.

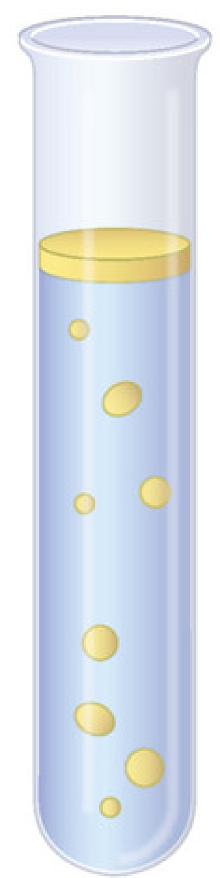
37 Planten kunnen uit alleen glucose wel andere koolhydraten en vetten vormen, maar geen eiwitten. Leg dat uit.

38 Bij warmbloedige dieren is vet onder andere opgeslagen in onderhuids bindweefsel.
Wat is daarvan de functie?

39 a Als in een triglyceride het derde vetzuur wordt vervangen door een fosfaatgroep, veranderen de fysische eigenschappen van het vetmolecuul ingrijpend. Leg dat uit.

b Een mengsel van olie en water wordt geschud, waardoor de olie druppels in het water vormt (zie afbeelding 29). Vervolgens wordt een vetzuur toegevoegd, waarna het mengsel opnieuw wordt geschud. Een vetzuurmolecuul heeft een hydrofiele kant, net als een fosfolipide. Waar zullen de vetzuurmoleculen zich in dit mengsel bevinden? Leg je antwoord uit.

▼ **Afb. 29** Een mengsel van olie en water.

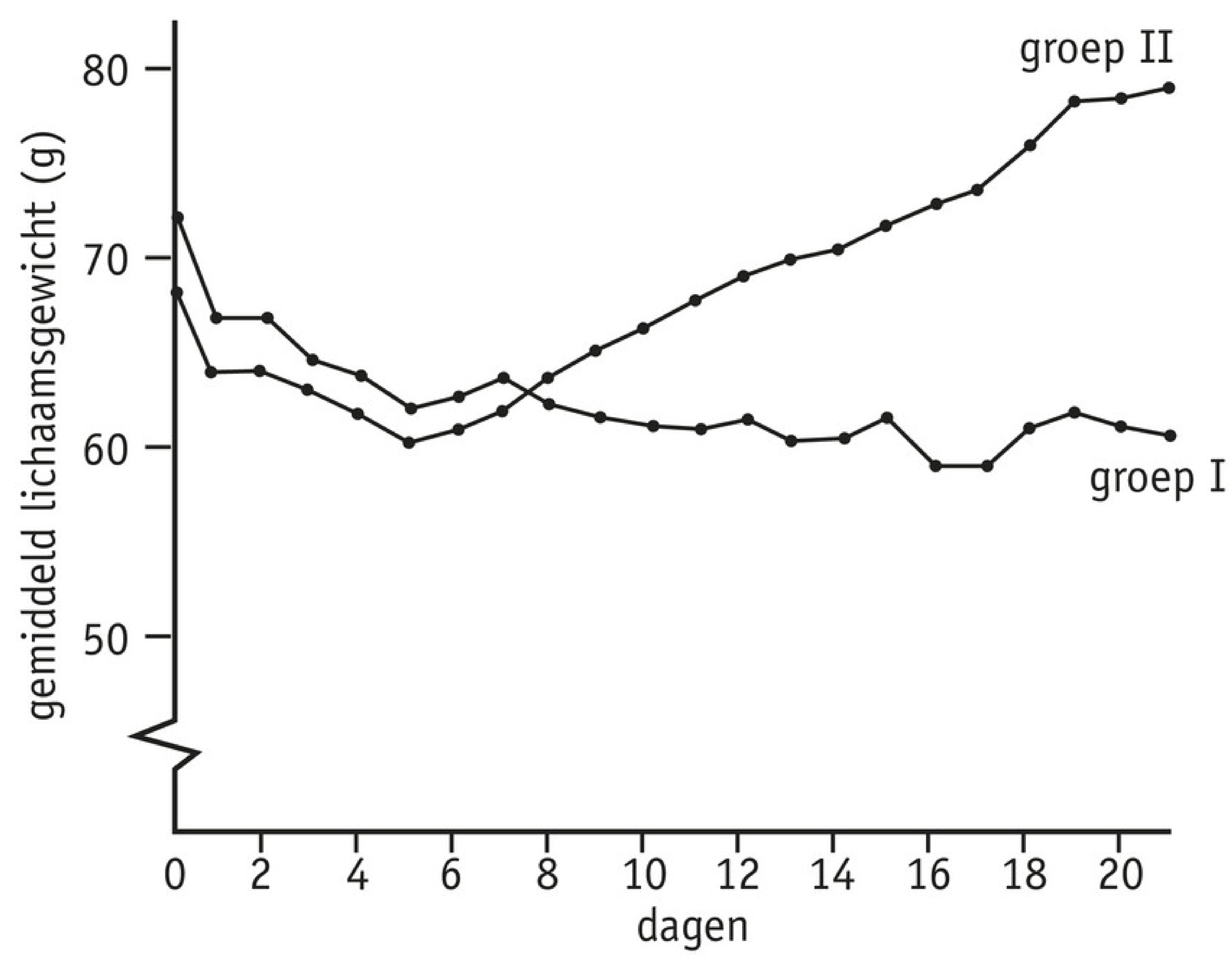


40 In afbeelding 30 zijn de resultaten weergegeven van een voedingsexperiment met jonge ratten.
De gezonde ratten in groep I en II werden gevoerd met een dieet bestaande uit alle benodigde vitaminen, koolhydraten, mineralen, water en plantaardige vezels. Als enige eiwit werd zeïne toegediend. Zeïne is een eiwit afkomstig uit maïs.
Na zeven dagen werden aan het dieet van groep II de aminozuren lysine en tryptofaan toegevoegd.

a Welke belangrijke groep organische stoffen ontbreekt in het dieet van de ratten?

b Verklaar de gewichtsafname van beide groepen ratten in de eerste week van het experiment.

▶ **Afb. 30** Resultaten van een voedingsexperiment met jonge ratten.



Bron: J.J. Head, *Discovering biology*, Oxford University Press, 1972.

OPSLAG VAN ASSIMILATIEPRODUCTEN

Overdag wordt er in een plant meestal meer glucose gevormd dan er bij dissimilatie wordt verbruikt. Het overschot aan glucose wordt omgezet in koolhydraten, eiwitten en vetten en gebruikt voor opbouw, herstel en de vorming van reservestoffen. Planten slaan reservestoffen vooral op in verdikte, ondergrondse delen (wortels, knollen, bollen) en zaden.

Een groot deel van de gevormde glucose wordt omgezet in zetmeel en tijdelijk opgeslagen in bladcellen. Door de omzetting in zetmeel wordt voorkomen dat de osmotische waarde van de bladcellen te veel stijgt. Vooral ’s nachts wordt het opgeslagen zetmeel omgezet in sacharose (suiker) en via bastvaten afgevoerd naar andere delen van de plant, waar het wordt verbruikt bij de dissimilatie of wordt opgeslagen als reservestof.

opdrachten

41 Planten slaan reservestoffen onder andere op in wortels, bollen, knollen en zaden.

a Wat is de functie van reservestoffen in ondergrondse delen voor de plant?

b En in zaden?

42 Een leerling wil aantonen dat in bladeren zetmeel is opgeslagen.
Op welk moment van de dag kan zij het best een blad plukken: ’s morgens vroeg of laat in de middag? Leg je antwoord uit.

43 Fruittelers van appels en peren passen in de maanden mei en juni vruchtdunning toe. Hierbij wordt een deel van de vruchten vroegtijdig verwijderd van de fruitboom. Dit wordt gedaan om grote vruchten te oogsten, zonder dat de totale productie te veel daalt. Grotere vruchten leveren de teler meer geld op.

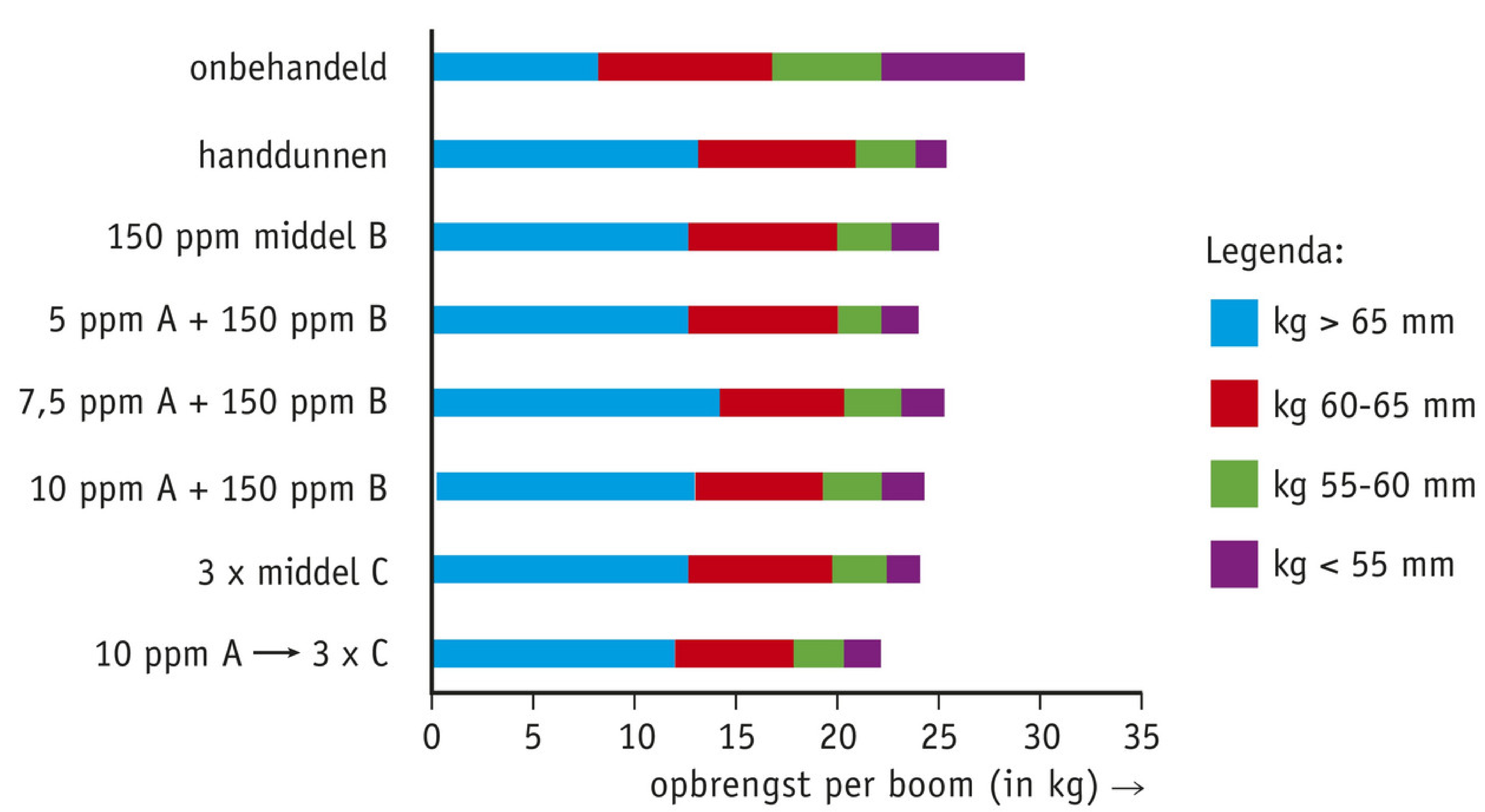
a Leg uit waardoor vruchten aan een fruitboom groter worden na vruchtdunning.

b Niet alle beschikbare koolhydraten gaan naar het fruit. Leg dat uit.

c Bij vruchtdunning van appels en peren houdt een teler twintig tot dertig bladeren per vrucht aan dezelfde tak aan.
Leg uit waarom een teler kijkt naar het aantal bladeren per vrucht aan dezelfde tak.

d Tegenwoordig vindt er ook chemische vruchtdunning plaats. Dit is goedkoper dan handdunnen. Om de ideale combinatie en concentratie van vruchtdunningsmiddelen te bepalen, is bij verschillende bedrijven onderzoek gedaan aan de teelt van conference peren. Gemeten zijn de productie in kilogram en de maatverdeling (grootte van het fruit) in millimeter. De resultaten van één bedrijf zijn weergegeven in afbeelding 31.
Welke concentratie chemisch vruchtdunningsmiddel gaf voor deze teler een beter resultaat dan handdunning?

e Welke conclusie kun je trekken over de productie en maatverdeling van peren als je de onbehandelde bomen vergelijkt met de handgedunde?



▶ **Afb. 31** Het effect van verschillende vormen van vruchtdunning op productie en maatverdeling.

CONTEXT Beroep

Voedingsadvies

▼ **Afb. 32** Anouk de Veen.



Na haar opleiding voeding en diëtetiek en cursussen voor sportdiëtist en kinderdiëtist is Anouk de Veen in 2013 gestart met haar eigen voedingsadviesbureau. Anouk spreekt liever van voedingsadvies dan van diëten.
Zowel voeding als psychologie zijn erg belangrijk in haar werk. Anouk helpt graag mensen bij het veranderen van hun leefstijl en het vasthouden van het nieuwe eet- en leefpatroon. Samen met de cliënt kiest Anouk een methode die het best aansluit bij de persoonlijke leefstijl en gezondheid. Cliënten met eetbuien krijgen bijvoorbeeld verschillende opdrachten om de eetbuien onder controle te krijgen. Ook helpt Anouk bij het voorkomen van het 'jojo-effect' dat vaak optreedt na diëten.
Aan de hand van het eet-, leef- en trainingspatroon en een uitgebreide analyse van de benodigde voedingsstoffen stelt Anouk ook sportvoedingsadviezen op. Die zijn bedoeld om de sportprestaties te verbeteren. Doordat ze zelf op hoog niveau heeft geschaatst en gewielrend, kan ze zich goed inleven in sporters.
Om haar vakkennis up-to-date te houden, blijft Anouk cursussen volgen. Ze is aangesloten bij de Nederlandse Vereniging voor Diëtisten, het NKD (Netwerk Kinder Diëtisten) en ze is ingeschreven in het kwaliteitsregister voor diëtisten.
Bron: www.dietist-lavitasana.nl.

opdrachten

44 Anouk werkt voornamelijk op basis van koolhydraatbeperking.
- **a** Leg uit waarom een koolhydraatarm dieet effectief kan zijn bij overgewicht.
- **b** Welke andere groep voedingsstoffen levert een belangrijke bijdrage aan de energievoorziening van je lichaam?

45 Naast het voedingspatroon is nog een aspect van de leefstijl belangrijk voor een stabiel lichaamsgewicht.
- **a** Welk aspect is dat?
- **b** Waarvoor is het belangrijk dat een voedingsadvies in een persoonlijk gesprek wordt vastgesteld?
- **c** Licht toe dat behalve kennis van voeding ook kennis van gedrag en psychologie belangrijk is voor een diëtist.

46 Anouk volgde de hbo-opleiding Voeding en diëtetiek om diëtist te worden.
- **a** Zoek op internet nog drie andere hbo-opleidingen rond voeding. Noteer bij elke studierichting: wat leer je, welk(e) beroep(en) kun je daarna uitoefenen, en bij welk (soort) bedrijf kun je gaan werken.
- **b** Zou een opleiding tot diëtist iets voor jou kunnen zijn? Of een van de andere opleidingen rond voeding? Licht je antwoord toe.

Leerdoelen
- Je kunt de aerobe en anaerobe dissimilatie van glucose beschrijven.
- Je kunt de dissimilatie van eiwitten en vetten beschrijven.

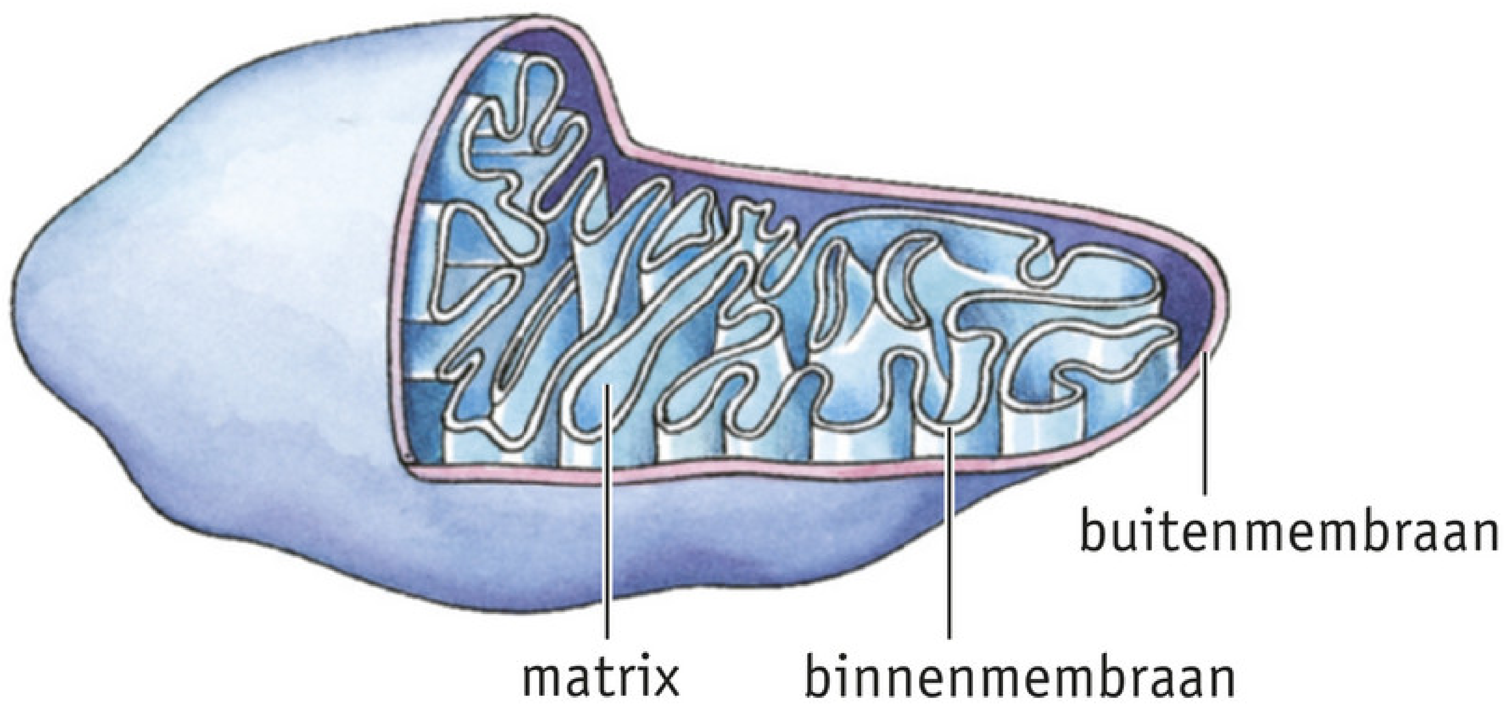
5 Dissimilatie

Geen enkel levend wezen kan zonder energie. Energie om stoffen op te nemen, te groeien, te bewegen of voort te planten. Die energie is vaak afkomstig van opgenomen of opgeslagen energierijke stoffen.

AEROBE DISSIMILATIE VAN GLUCOSE

Bij dissimilatie (afbraak) van organische stoffen komt de energie die bij de fotosynthese is vastgelegd, weer beschikbaar. De belangrijkste brandstof in de cellen is glucose. Dissimilatie van glucose met zuurstof noem je aerobe dissimilatie of **verbranding**. De verbranding vindt grotendeels plaats in de mitochondriën (zie afbeelding 33).

▶ **Afb. 33** Een mitochondrium.



Behalve glucose kunnen ook vetten en eiwitten worden verbrand. Bij verbranding wordt ATP gevormd, dat door cellen kan worden gebruikt als energiebron:

glucose + zuurstof → koolstofdioxide + water + ATP

De reactievergelijking van de verbranding van glucose is:

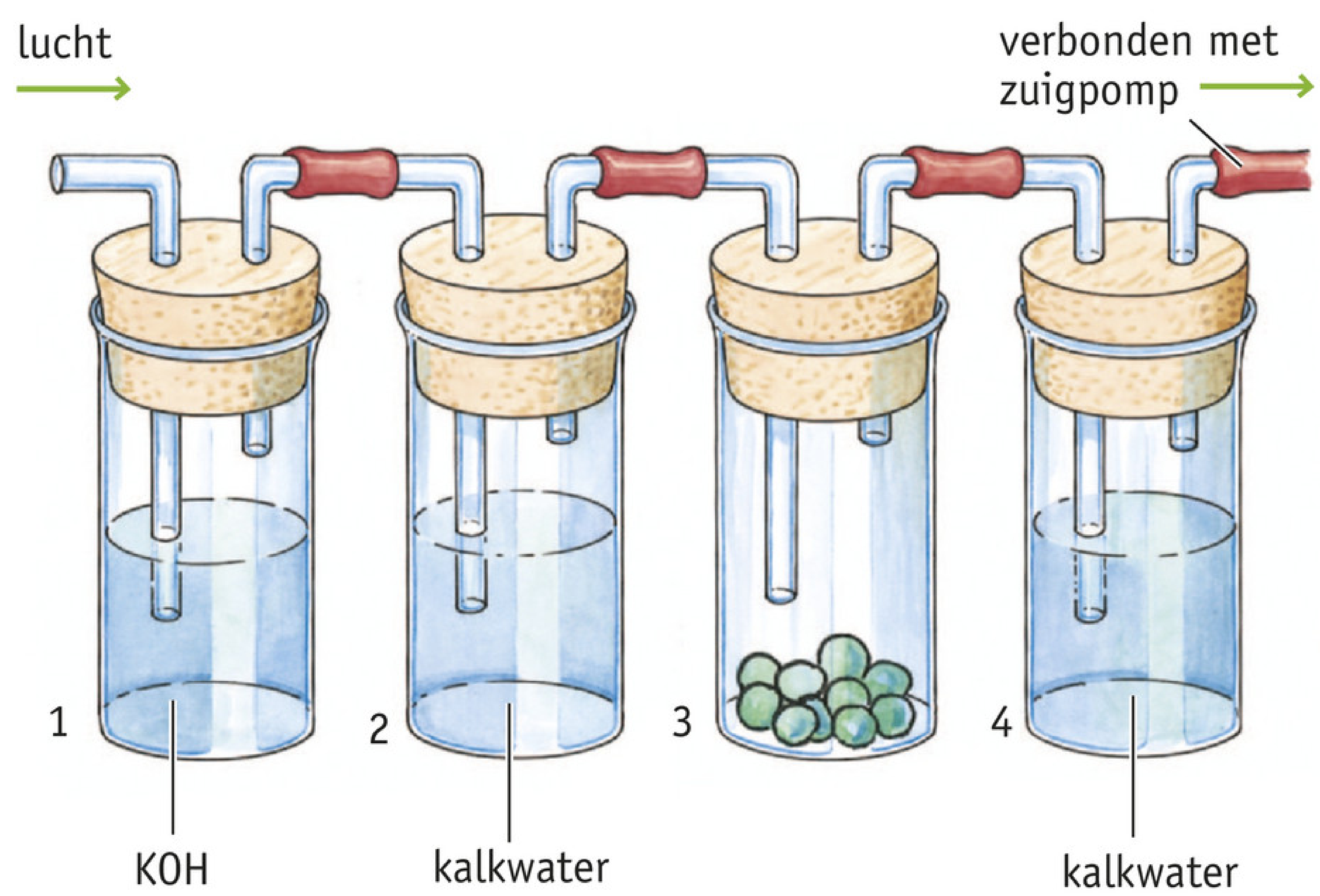
$C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 \rightarrow 6\ CO_2 + 6\ H_2O + 30\ ATP$

▶▶ PRACTICUMOPDRACHT 4

opdrachten

47 Kalkwater is een indicator voor koolstofdioxide. Koolstofdioxide maakt helder kalkwater troebel. In afbeelding 34 is een proefopstelling gegeven.

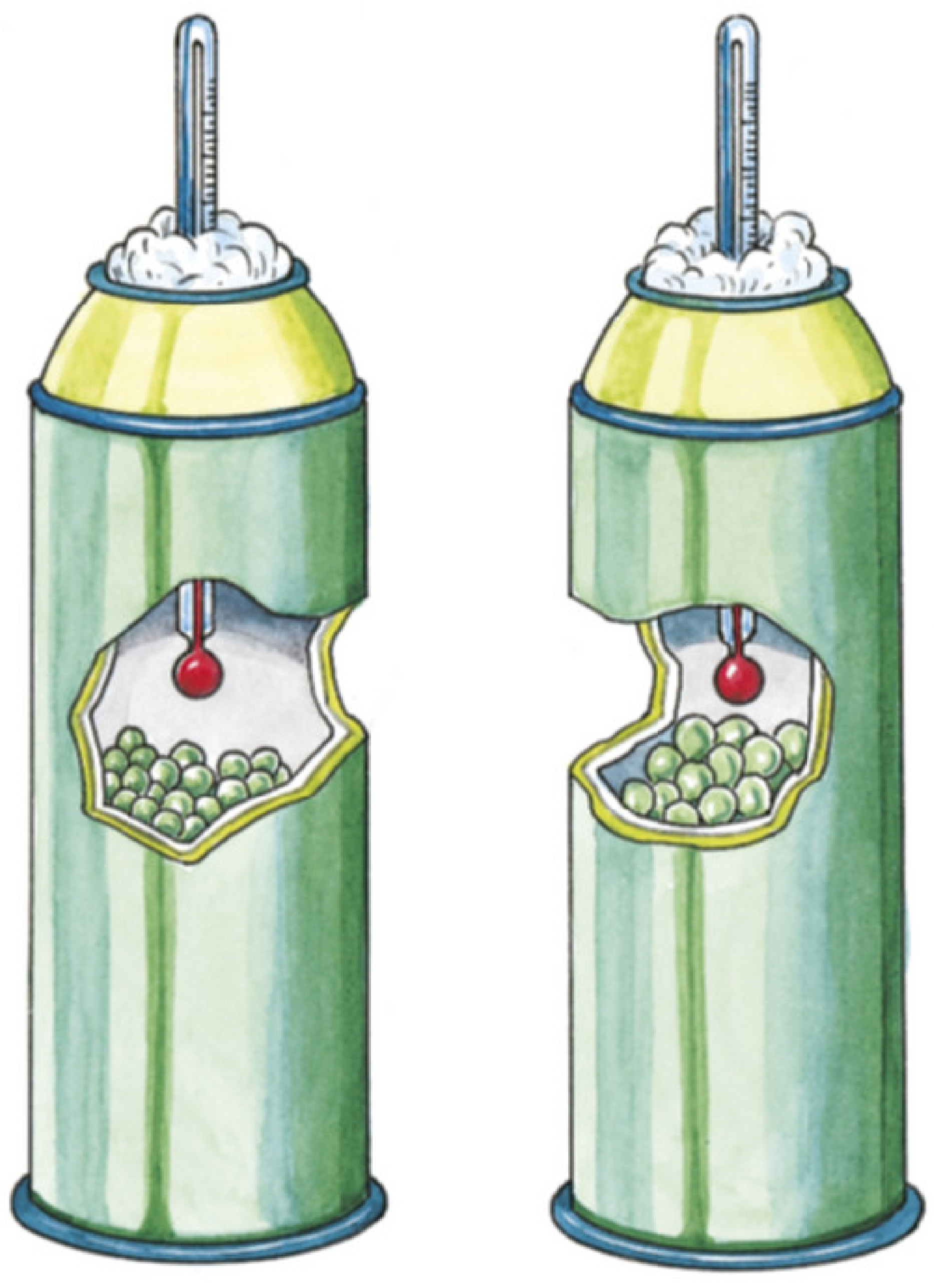
▶ **Afb. 34** Proefopstelling.



De KOH-oplossing (kaliumhydroxideoplossing) in buis 1 haalt alle koolstofdioxide uit de lucht. In buis 2 en 4 zit helder kalkwater. In buis 3 zitten kiemende erwten. Buis 4 is verbonden met een pomp die lucht aanzuigt.

a Zal het kalkwater in buis 2 troebel worden? Leg je antwoord uit.
b Zal het kalkwater in buis 4 troebel worden? Leg je antwoord uit.
c Wat is de functie van buis 2 in deze opstelling?

Afb. 35 Proefopstelling.



1 droge, niet ontkiemende groene erwten
2 geweekte, ontkiemende groene erwten

48 In twee thermosflessen wordt de temperatuur gemeten bij droge en geweekte erwten (zie afbeelding 35). De flessen worden afgesloten met watten. De thermometers zijn tussen de watten vastgeklemd zodanig dat de schaalverdeling nog afleesbaar is.

a Waarom worden de flessen afgesloten met watten?
b In welke thermosfles is na twee dagen de temperatuur gestegen?
c Verklaar de temperatuurstijging. Gebruik de term verbranding.

Anaerobe dissimilatie van glucose

Wanneer in cellen voldoende zuurstof aanwezig is, vindt verbranding plaats (aerobe dissimilatie). De meeste organismen kunnen ook glucose dissimileren zonder zuurstof. Dit noem je anaerobe dissimilatie of **gisting**. Ook bij gisting wordt ATP gevormd.
Bij gisting kan alcohol (ethanol) ontstaan. Als er alcohol ontstaat, spreek je van **alcoholgisting**. Dit gebeurt bijvoorbeeld in gistcellen. Ethanol bevat nog veel chemische energie. Bij gisting komt dan ook per glucosemolecuul veel minder energie beschikbaar voor de cel dan bij verbranding. De reactievergelijking van alcoholgisting is:

$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2\ C_2H_6O$ (ethanol) $+ 2\ CO_2 + 2$ ATP

Bij de bereiding van bier, wijn en brood vindt alcoholgisting plaats. De gasbelletjes in bier en in mousserende wijn (bijvoorbeeld champagne) bevatten koolstofdioxide, dat ook is ontstaan bij de alcoholgisting.

Bij gisting kan ook melkzuur ontstaan. In een zuurstofarme omgeving breken melkzuurbacteriën glucose af tot melkzuur. Deze vorm van anaerobe dissimilatie van glucose noem je **melkzuurgisting**. Melkzuurbacteriën worden onder andere gebruikt bij de productie van kaas, yoghurt en zuurkool. Melkzuurgisting leidt tot verzuring van voedingsproducten. De reactievergelijking van melkzuurgisting is:

$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2\ C_3H_6O_3$ (melkzuur) $+ 2$ ATP

Bij veel dieren en ook bij mensen kan door melkzuurgisting verzuring ontstaan, vooral in de spieren (‘verzuurde spieren’). Dit gebeurt als er meer energie nodig is dan de aerobe dissimilatie kan leveren, bijvoorbeeld bij sporters die een eindsprint inzetten. Door zuurstoftekort in de spieren stagneert dan de verbranding en ontstaat er melkzuur door melkzuurgisting in de spiercellen. Per glucosemolecuul komt bij melkzuurgisting slechts weinig energie beschikbaar. Het is dan nodig in korte tijd veel glucose te dissimileren.
Melkzuur bevat nog veel energie en wordt afgevoerd naar de lever. Na afloop van de inspanning wordt het met behulp van zuurstof en ATP weer omgezet in glucose. Spieren kunnen ook verzuren door de omzetting van ATP in ADP. Daarbij ontstaat fosforzuur (H_3PO_4). Melkzuurgisting en ophoping van fosforzuur kunnen zo leiden tot verzuring.

opdrachten

49 Vul de tabel in.

- Kies bij 1 uit: *gisting – verbranding*.
- Kies bij 2 uit: *met zuurstof – zonder zuurstof*.
- Kies bij 3 uit: *twee of geen moleculen* CO_2 *– zes moleculen* CO_2.
- Kies bij 4 uit: *veel energie – weinig energie*.
- Kies bij 5 uit: *veel energie – weinig energie*.

	Aerobe dissimilatie van glucose	Anaerobe dissimilatie van glucose
1 Dit proces heet ook wel		
2 Dit proces vindt plaats		
3 Per glucosemolecuul ontstaan		
4 De eindproducten bevatten		
5 Dit proces levert		

▼ **Afb. 36** Deze sporter komt op adem na een zware wedstrijd.



50 Leg uit hoe brooddeeg rijst. Gebruik in je antwoord de begrippen enzymen en alcoholgisting.

51 Melk begint doorgaans onder in een fles zuur te worden.
Waardoor begint dit proces onder in de fles?

52 In het cytoplasma van spiercellen en in de weefselvloeistof van de spieren is een hoeveelheid zuurstof opgelost. Tijdens de 100 meter sprint is deze hoeveelheid al na twee tot drie seconden verbruikt.

a Op welke drie manieren wordt tijdens de 100 meter sprint achtereenvolgens energie geleverd aan de spiercellen?

b Melkzuur ontstaat onder zuurstofarme omstandigheden in grote hoeveelheden in de spieren.
Leg uit dat het voor het lichaam efficiënter is om dit melkzuur in de lever ten koste van ATP weer om te zetten in glucose, dan het via de nieren uit te scheiden.

c Na een grote inspanning blijven sporters minutenlang uithijgen (zie afbeelding 36).
Leg uit waarvoor dit nodig is.

▼ **Afb. 37** Wijnvaten met watersloten.



53 Wijn kun je maken in een vat of fles met een waterslot (zie afbeelding 37). Een waterslot laat gasbellen uit het vat ontsnappen, maar laat geen lucht van buitenaf het vat binnenkomen.

a Waarom mag er geen lucht van buitenaf het vat binnenkomen?

b Bij de productie van wijn stopt de alcoholgisting wanneer een alcoholpercentage van ongeveer 14% is bereikt.
Waardoor stopt dan het gistingsproces?

54 Gewone bakkersgist kan worden gebruikt om glucose en sacharose te vergisten tot de biobrandstof ethanol. Voor die eenvoudige omzetting zijn in de gistcel zo'n twaalf tot vijftien eiwitten nodig. Door het inbouwen van genen uit een schimmel en een melkzuurbacterie maakten onderzoekers aan de TU Delft gistvarianten die ook monosachariden zoals xylose en arabinose uit restafval kunnen omzetten in ethanol. In een fabriek in Iowa in de Verenigde Staten wordt met deze genetisch gemodificeerde gistvariant jaarlijks tachtig miljoen liter ethanol gemaakt uit maïsafval.

a Wat is de functie van de eiwitten die nodig zijn voor omzetting van glucose en sacharose in ethanol?

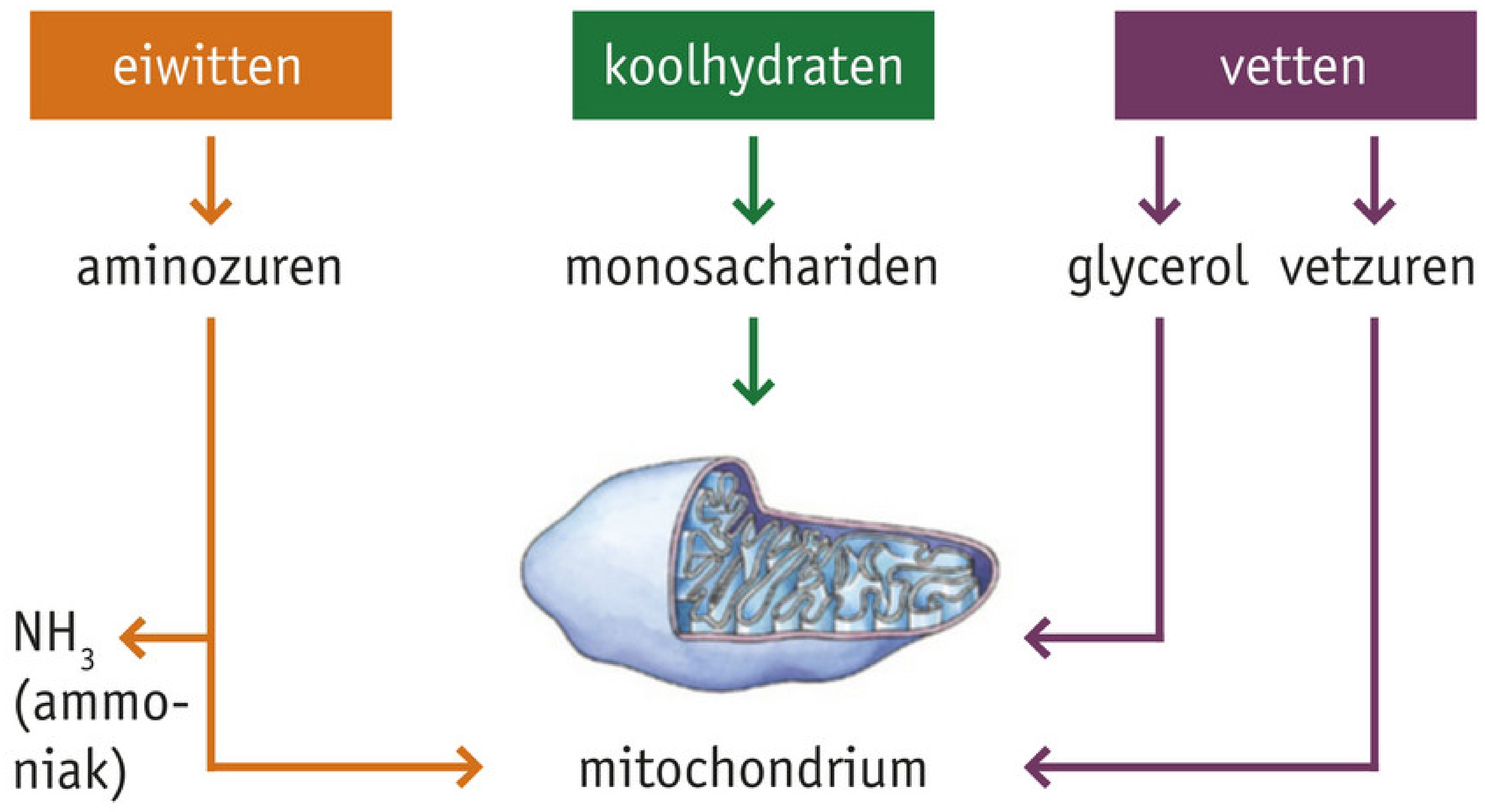
b Het gebruik van gewone bakkersgist kan leiden tot concurrentie tussen voedsel- en brandstofproductie. Bij gebruik van de genetisch gemodificeerde gist is de geproduceerde brandstof wel volledig duurzaam. Leg dat uit.

Aerobe dissimilatie van koolhydraten, eiwitten en vetten

In cellen wordt niet alleen glucose verbrand. Ook andere koolhydraten, eiwitten en vetten worden afgebroken (zie afbeelding 38).

- Koolhydraten worden eerst omgezet in monosachariden, vooral glucose.
- Eiwitten worden eerst gesplitst in aminozuren. Van de aminozuren wordt de aminogroep afgesplitst en omgezet in ammoniak (NH_3). Ammoniak wordt bij dieren en mensen omgezet in urinezuur of ureum en uitgescheiden.
 Bij de afbraak van aminozuren kan ook zwavel ontstaan. De overgebleven koolstofketen kan worden omgezet in andere stoffen die in de mitochondriën worden verbrand.
- Vetten worden eerst gesplitst in glycerol en vetzuren. Glycerol en vetzuren kunnen worden omgezet in andere stoffen en verbrand in de mitochondriën. Als in een cel geen grote behoefte is aan energie, kan glycerol ook worden omgezet in glucose en vervolgens in glycogeen. Dit wordt opgeslagen als energiereserve.

Bij de verbranding van vetten komt veel meer energie vrij dan bij de verbranding van koolhydraten of eiwitten. Dit wordt veroorzaakt door het relatief grote aantal koolwaterstofbindingen per gram vet.



▶ **Afb. 38** Verbranding van eiwitten, koolhydraten en vetten

opdrachten

55 Welke schadelijke stoffen kunnen ontstaan bij verbranding van eiwitten?

56 Welke stoffen leveren bij verbranding per gram het meeste ATP op: koolhydraten, eiwitten of vetten?

57 Een mossel hecht zich vast aan de ondergrond en brengt grote delen van zijn leven op dezelfde plaats door. Een mossel slaat in zijn lichaam als energiereserve vooral glycogeen op. Vogels slaan als energiereserve vooral vetten op.
Leg uit dat dit verschil samenhangt met de levenswijze van de dieren.

58 Carnitine is een stof die vetzuren door membranen kan transporteren ten behoeve van de verbranding.
In welke membranen in cellen zal carnitine zeker voorkomen? Leg je antwoord uit.

CONTEXT Leefwereld

Fermenteren met smaak

▼ **Afb. 39** Fermenteren in een koelkastloos deel van de wereld.



Fermenteren was in het koelkastloze tijdperk dé manier om voedsel te verduurzamen (zie afbeelding 39). Melkzuurbacteriën veranderen kool in zuurkool en melk in yoghurt. Hierdoor blijven rottingsbacteriën buiten de deur. Zelfgemaakte zuurkool en yoghurt zijn minder zuur en subtieler van smaak. Het vergisten van suikers in melkzuur of alcohol heet fermenteren. Bier en speciale kaasjes zijn fermentatieproducten. Al deze voedingsmiddelen zijn gemaakt met behulp van bacteriën, gisten of schimmels die ons voedsel smaakvoller en beter houdbaar maken. De reducenten produceren enzymen die ervoor zorgen dat de zuurgraad, smaak, geur, uiterlijk, verteerbaarheid en de houdbaarheid veranderen. Yoghurt kun je eenvoudig zelf maken. Dat kan met allerlei soorten melk, zoals koemelk, geitenmelk of zelfs sojamelk. Daar voeg je melkzuurbacteriën aan toe, waarvan verschillende mengsels te verkrijgen zijn. Je moet de melk wel eerst even verhitten tot 80 °C, laten afkoelen en in een goed schoongemaakte pot doen voordat je de bacteriecultuur toevoegt. Afgedekt laten staan bij 40 °C en na een nacht is je yoghurt klaar. Door de yoghurt in een kaasdoek te laten uitlekken, ontstaat hangop. Het vocht, de wei, kun je goed gebruiken voor het inmaken van groenten. Eet smakelijk!

opdracht

59 Yoghurt is langer houdbaar dan melk.
- **a** Leg uit waardoor dat komt.
- **b** Zuurkool en yoghurt die je in de supermarkt koopt, zijn gepasteuriseerd. Wat is pasteuriseren en waarom gebeurt dat?
- **c** Bij lactose-intolerantie is het beter om de yoghurtkweek langer te laten staan. Leg uit waarom.
- **d** Is het beter om de yoghurtkweek luchtdicht af te sluiten of om de pot open te laten?
- **e** Sommige mensen beweren dat zelfgemaakte yoghurt gezonder is, doordat deze probiotica bevat die goed zijn voor je darmflora. Leg dat uit.

Leerdoel

– Je kunt de voorwaarden voor het fotosyntheseproces in planten benoemen.

6 Intensiteit van de stofwisseling

Zolang we leven, gaat de stofwisseling door. Dat blijkt uit onze ademhaling. Bij planten is de gaswisseling het resultaat van verbranding en fotosynthese.

BASALE STOFWISSELING

In ons lichaam vinden processen plaats die altijd doorgaan, zoals de hartslag, de ademhaling en de peristaltische bewegingen van het darmkanaal. De minimale stofwisseling die nodig is om deze processen op gang te houden, noem je de **basale stofwisseling**. De **intensiteit van de stofwisseling** is de snelheid waarmee de stofwisseling plaatsvindt. Je kunt de intensiteit van de basale stofwisseling bepalen door de hoeveelheid zuurstof te meten die je in rust verbruikt. Het zuurstofverbruik is onder andere afhankelijk van het geslacht, de activiteit, de leeftijd en het lichaamsgewicht.

PRACTICUMOPDRACHT 5

INTENSITEIT VAN DE FOTOSYNTHESE

De **intensiteit van de fotosynthese** is de snelheid waarmee bij de fotosynthese glucose wordt gevormd en zuurstof ontstaat. Deze intensiteit wordt meestal uitgedrukt in geproduceerde milliliter O_2 per minuut of verbruikte milliliter CO_2 per minuut. De zuurstofproductie is afhankelijk van verschillende factoren, zoals de hoeveelheid licht en het kleurenspectrum, de beschikbare hoeveelheid koolstofdioxide en water, de temperatuur en de hoeveelheid bladgroen.
De intensiteit van de fotosynthese wordt bepaald door de factor die het minst gunstig is: de **beperkende factor**. Als bijvoorbeeld bij een toenemende hoeveelheid licht de fotosynthese toeneemt, dan is licht de beperkende factor voor de fotosynthese.
Ook de verbranding in planten wordt beïnvloed door milieufactoren, zoals de temperatuur en de hoeveelheid zuurstof. Meestal wordt de invloed van de lichtsterkte op de intensiteit van de verbranding (het zuurstofverbruik van de plant) buiten beschouwing gelaten.

De intensiteit van de fotosynthese (de zuurstofproductie van de plant) is niet rechtstreeks te bepalen. Dat komt doordat een deel van de zuurstof die bij de fotosynthese in het blad ontstaat, wordt verbruikt bij de verbranding. De zuurstofafgifte is dus altijd kleiner dan de zuurstofproductie. 's Nachts, in het donker, vindt geen fotosynthese plaats. Door te bepalen hoeveel zuurstof 's nachts bij de verbranding wordt verbruikt, kun je indirect de zuurstofproductie door de fotosynthese afleiden. Je gaat er daarbij van uit dat het zuurstofverbruik overdag en 's nachts gelijk is. Het gemeten zuurstofverbruik door verbranding tel je op bij de zuurstofafgifte tijdens fotosynthese. Deze waarde is de maat voor de intensiteit van de fotosynthese.
In plaats van de zuurstofopname en -afgifte, kun je ook de opgenomen of afgegeven hoeveelheid koolstofdioxide van de plant bepalen.

PRACTICUMOPDRACHT 6

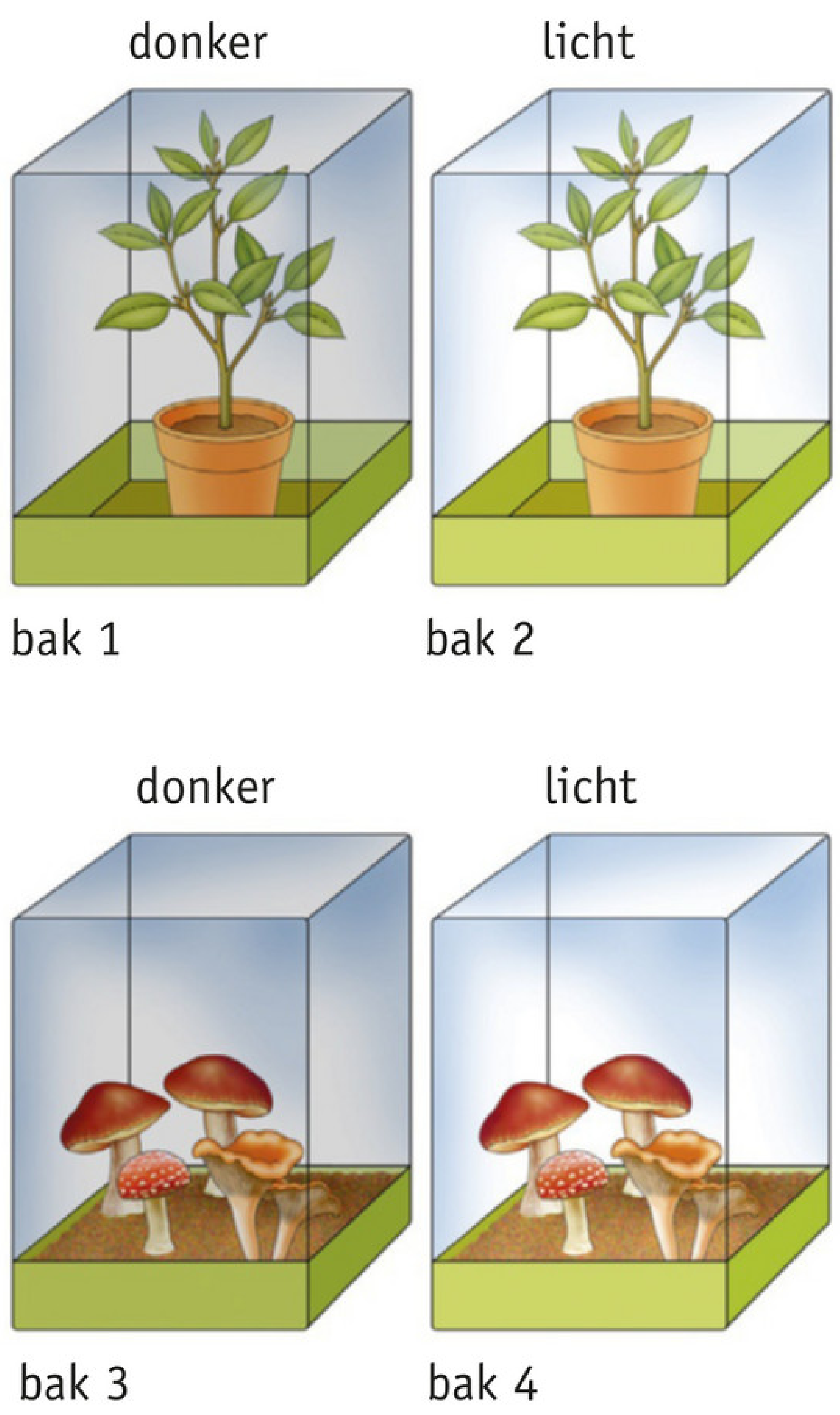
opdrachten

60 Leg in eigen woorden uit wat bij fotosynthese een beperkende factor is.

61 In afbeelding 40 zijn vier afgesloten bakken met levende organismen getekend. Bak 1 en 3 staan in het donker. Bak 2 en 4 staan in het licht. Alle andere omstandigheden zijn gelijk. De organismen beschikken over voldoende water, warmte en voedingsstoffen.

- **a** In welke bak(ken) vindt verbranding plaats?
- **b** In welke bak(ken) vindt fotosynthese plaats?
- **c** In welke bak(ken) zal de hoeveelheid zuurstof zeker afnemen?
- **d** In welke bak(ken) zal de hoeveelheid koolstofdioxide toenemen?
- **e** Waarvan zal afhangen of in bak 2 de hoeveelheid zuurstof toeneemt?

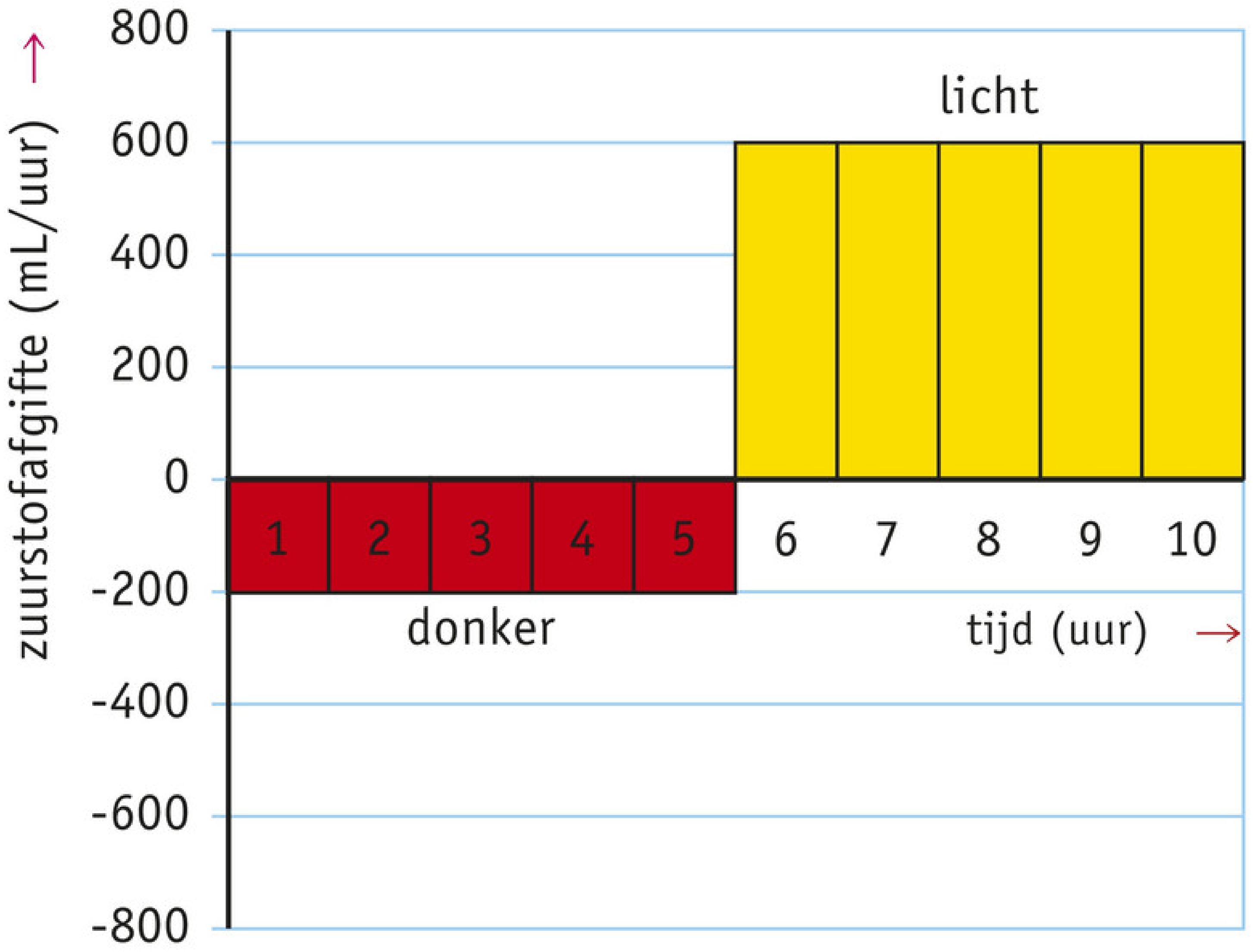
▼ **Afb. 40** Proefopstelling.



62 Bij een plant wordt gedurende tien uur de zuurstofopname of de zuurstofafgifte per uur gemeten. De eerste vijf uur staat de plant in het donker, de tweede vijf uur in het licht. Alle andere omstandigheden blijven tijdens deze proef gelijk. De resultaten zijn weergegeven in het diagram van afbeelding 41.

- **a** Wat is in de eerste vijf uur de beperkende factor voor de fotosynthese?
- **b** Hoeveel zuurstof verbruikt de plant per uur bij de verbranding tijdens de eerste vijf uur?
- **c** Hoeveel zuurstof verbruikt de plant per uur voor de verbranding tijdens de tweede vijf uur?
- **d** Hoeveel bedraagt de zuurstofafgifte van de plant per uur tijdens de tweede vijf uur?
- **e** Hoeveel bedraagt dus de zuurstofproductie per uur door de fotosynthese tijdens de tweede vijf uur?
- **f** Hoeveel milliliter koolstofdioxide neemt deze plant op tijdens de tweede periode van vijf uur?

▶ **Afb. 41** Zuurstofafgifte gedurende tien uur.



63 Een plant bevindt zich in een afgesloten ruimte. De verlichtingssterkte in de ruimte wordt gevarieerd. Alle andere omstandigheden blijven gelijk. Tijdens de proef wordt de hoeveelheid zuurstof in de afgesloten ruimte gemeten. Hieruit wordt berekend hoeveel zuurstof door de plant wordt afgegeven of opgenomen. De resultaten zijn in het diagram van afbeelding 42 weergegeven. Aangenomen wordt dat de intensiteit van de verbranding niet wordt beïnvloed door de verlichtingssterkte.

- **a** Hoeveel bedraagt de zuurstofproductie door fotosynthese bij punt P?
- **b** Hoeveel bedraagt het zuurstofverbruik door verbranding bij punt P?

c Op een bepaald moment verbruikt de plant evenveel zuurstof bij de verbranding als hij produceert bij de fotosynthese. Dit punt heet het compensatiepunt.
Bij welk punt in afbeelding 42 ligt het compensatiepunt? Leg je antwoord uit.

d In welk gedeelte van de grafiek is de intensiteit van de verbranding groter dan de intensiteit van de fotosynthese? Kies uit:
PQ – PR – PS – QR – QS – RS.

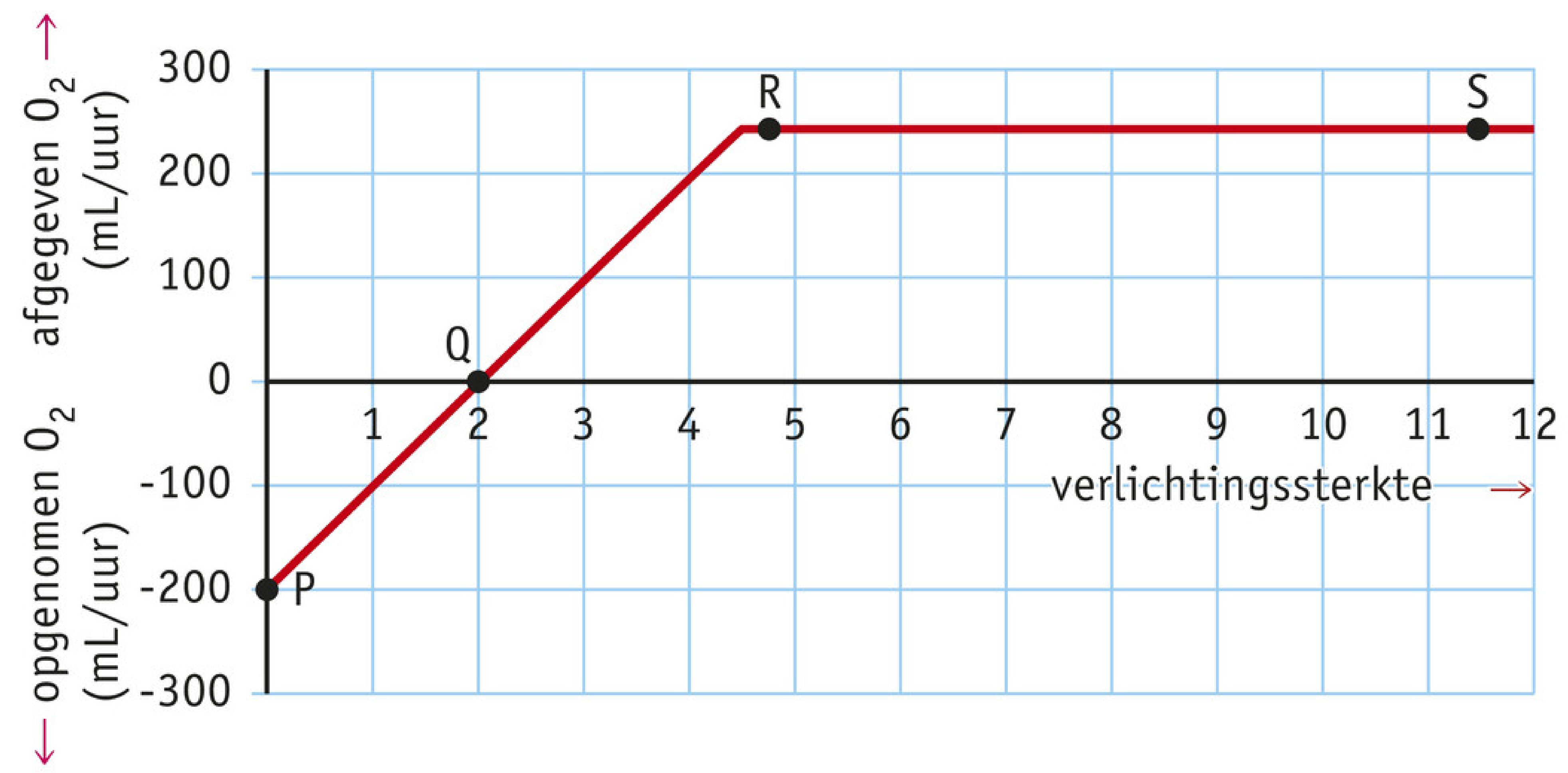
e Wat is de beperkende factor voor de fotosynthese tussen P en R?

f Wat zouden de beperkende factoren tussen R en S kunnen zijn?

g Neem het diagram van afbeelding 42 over. Teken in het assenstelsel de grafiek van de zuurstofproductie bij de fotosynthese. Neem hierbij voldoende lengte voor de *y*-as.

h Geef de intensiteit van de fotosynthese weer in een vergelijking met daarin: intensiteit van de fotosynthese, zuurstofafgifte, zuurstofproductie en zuurstofverbruik.

▶ **Afb. 42** Invloed van de verlichtingssterkte op de zuurstofafgifte.



64 In het onderzoek van afbeelding 43 wordt de invloed van de temperatuur op de intensiteit van de fotosynthese bij een takje waterpest bepaald.
Dit onderzoek geeft slechts globaal aan wat de invloed van de temperatuur is.
Beschrijf een aanvullend onderzoek waarmee je de onderzoeksvraag in meer detail kunt beantwoorden.

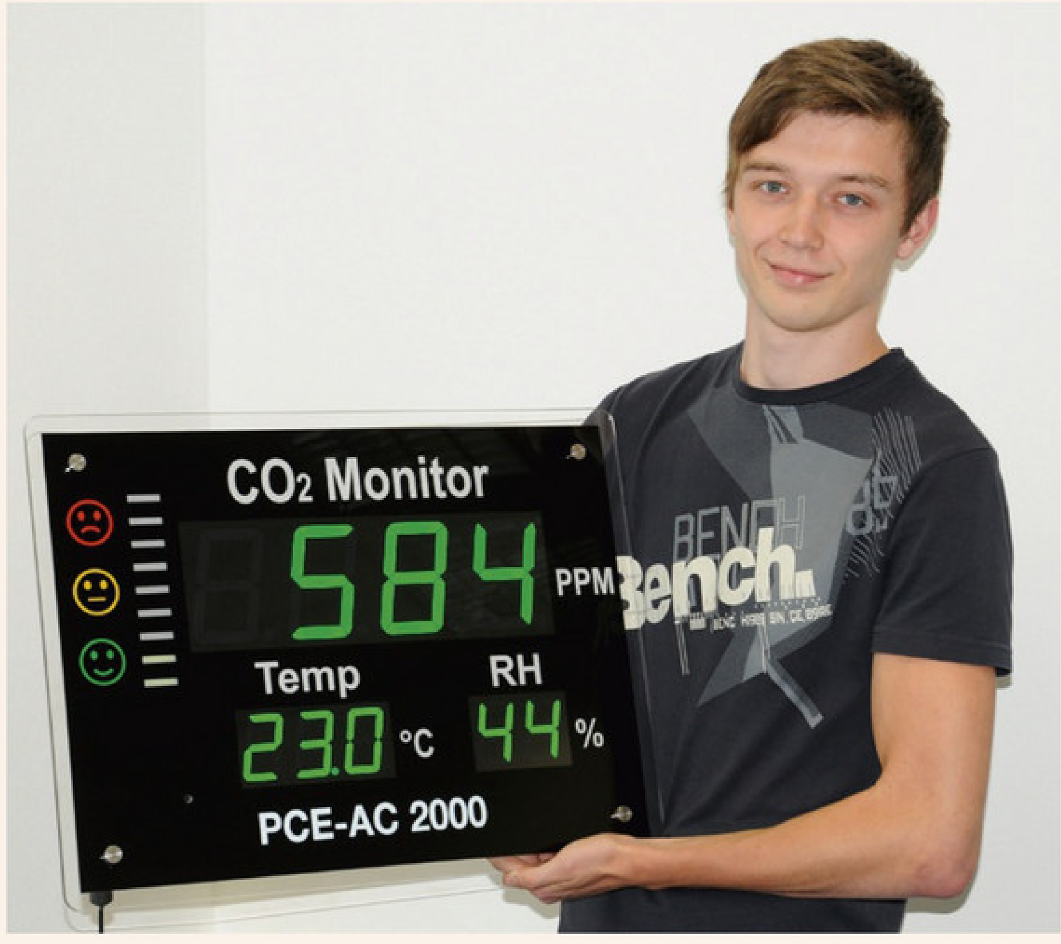
▼ **Afb. 43**

ONDERZOEK	**INVLOED VAN DE TEMPERATUUR OP DE FOTOSYNTHESE**
Inleiding	In de afbeelding is een proefopstelling weergegeven waarmee fotosynthese bij een takje waterpest kan worden onderzocht. Als de opstelling in het licht wordt geplaatst, ontstaan er gasbelletjes. Deze worden in de reageerbuis opgevangen.  proefopstelling voor fotosyntheseonderzoek
Onderzoeksvraag	Wat is de invloed van de temperatuur op de intensiteit van de fotosynthese?
Hypothese	Bij stijgende temperatuur neemt de intensiteit van de fotosynthese toe.
Experiment	– Een bekerglas wordt gevuld met 150 mL water op kamertemperatuur. Het takje waterpest wordt in de reageerbuis geschoven. – De reageerbuis wordt gevuld met water en ondersteboven in het bekerglas geplaatst (zie de afbeelding). De opstelling wordt belicht. – Geteld wordt het aantal gasbelletjes dat in een minuut opstijgt van de waterpest. – Het onderzoek wordt herhaald met warm water.
Resultaat	Bij warm water worden per minuut meer gasbelletjes gevormd dan bij water op kamertemperatuur.
Conclusie	Bij stijgende temperatuur neemt de intensiteit van de fotosynthese toe. De hypothese is bevestigd.

CONTEXT Leefwereld

CO_2 is beperkende factor voor concentratie

▼ **Afb. 44** CO_2-monitor voor een gezond klasklimaat.



Dat de luchtkwaliteit in een klaslokaal langzaam slechter wordt, merk je vaak niet als je er zelf middenin zit. Maar iemand die van buitenaf het lokaal binnenkomt, merkt het meteen. Hoe hoger de concentraties CO_2 en andere ongezonde stoffen in een ruimte, des te kleiner wordt het concentratievermogen van de mensen in die ruimte. De CO_2-concentratie is een indicator voor de luchtkwaliteit. In een slecht geventileerde ruimte vol mensen stijgt de CO_2-concentratie. Een groen plantenwandrek in de klas kan de CO_2-concentratie verlagen. Zeker als planten voldoende 'PAR'-licht (Photosynthetical Active Radiation) krijgen. Onafhankelijk van de beschikbare hoeveelheid licht brengen planten ook de concentratie formaldehyde omlaag. Volgens het Bouwbesluit mag de CO_2-concentratie in een klaslokaal niet boven de 1200 ppm uitkomen. Een CO_2-monitor in elk klaslokaal vergroot het bewustzijn van een gezond klasklimaat (zie afbeelding 44).
Bron: www.intogreen.nl.

opdrachten

65 Een slecht klasklimaat valt meer op als je van buiten komt dan als je er middenin zit.

- **a** Leg uit hoe dat komt.
- **b** Waardoor neemt de CO_2-concentratie toe in een slecht geventileerd lokaal vol leerlingen?
- **c** Wat is er intussen gebeurd met de zuurstofconcentratie?
- **d** Waarom is het niet altijd een oplossing om simpelweg een raam open te zetten voor betere ventilatie?
- **e** De CO_2-concentratie in gemiddelde buitenlucht is ongeveer 0,04%. Hoeveel keer hoger is de norm van het Bouwbesluit in vergelijking met de CO_2-concentratie (in ppm) in de gemiddelde buitenlucht?
- **f** Leg uit dat de hoeveelheid PAR-licht de beperkende factor is voor de afname van de CO_2-concentratie in de klas.

66 Met het programma Coach kun je de CO_2- en O_2-concentratie meten. Bouw de opstelling en bepaal het verloop van de CO_2- en O_2-concentratie in een afgesloten lokaal gedurende een lesuur, mét en zonder planten. Let op waar je de planten plaatst in het lokaal.

67 Ontwerp een plantenwandrek voor jouw klaslokaal. Houd daarbij rekening met plaatsing in de klas, plantkeuze, ruimtebenutting, aanschafkosten en onderhoud.

Je hebt nu de basisstof van dit thema doorgewerkt.

- Controleer met het uitwerkingenboek of je de basisstofopdrachten goed hebt uitgevoerd.
- Je kunt nu verdergaan met de digitale oefentoets. Je kunt de samenvatting en flitskaarten gebruiken om je hierop voor te bereiden.
- Na de digitale oefentoets kun je de paragraaf Samenhang, de examentrainer en de verrijkingsstof doen.

Leerdoelen

- Je kunt de rol van stofwisseling in de rundveehouderij toelichten voor verschillende organisatieniveaus van de biologie.
- Je kunt de biologische vakvaardigheden evolutionair, ecologisch en vorm-functiedenken toepassen op de stofwisseling van runderen.

▼ **Afb. 1** Koe met rugzak.



Koe neemt gas terug

Bij de vertering in het maag-darmkanaal van herkauwers ontstaat methaan, dat vooral via de bek maar ook via de anus ontsnapt. Een koe produceert per jaar ongeveer 175 kg methaangas. Methaangas is een sterker broeikasgas dan koolstofdioxide.

Het aandeel van de veehouderij in het versterkte broeikaseffect ligt tegen de 15%. Volgens de FAO (de Food and Agriculture Organization van de VN) is dat grotendeels toe te schrijven aan ontbossing ten behoeve van de veevoerproductie. Maar voor een aanzienlijk deel ligt het ook aan de methaanuitstoot. Het meeste methaan ontstaat bij de vertering in de pens van de koe. In de pens wordt vezelrijk voedsel afgebroken door middel van gisting. Daarbij ontstaan waterstofionen. Als waterstofionen ophopen, remt dat de vergisting. Bepaalde micro-organismen (archaea) verwijderen de waterstofionen. Ze laten het met CO_2 reageren tot methaan, dat vervolgens ontsnapt via de anus van de koe.

MINDER METHAAN

Methaan (CH_4, aardgas, biogas) is een energierijk gas. Er zijn dan ook experimenten uitgevoerd om het koeiengas op te vangen in rugzakken (zie afbeelding 1). Bij de huidige gasprijs is dat echter niet rendabel. Het winnen van het gas uit een hele stal zou dat misschien wel kunnen zijn, maar dat levert weer explosiegevaar op. Ondertussen wordt van alles geprobeerd om de methaanuitstoot van koeien te verminderen.
Het toevoegen van methaanremmers aan het voer, zoals nitraat (NO_3), blijkt een afname van 15 tot 30% op te leveren. De onderzoekers hadden gehoopt dat die afname ten goede zou komen aan de melkproductie, maar dat was niet het geval. De dieren die methaanremmers kregen, groeiden wel sneller in vergelijking met de controlegroep.

VEZELS, ZETMEEL EN INKUILEN

Een andere mogelijkheid is om de dieren minder vezelrijk voedsel te geven. Je zou herkauwers meer in weiden met jong gras kunnen laten grazen. Jong gras is kort en heeft nog weinig lignine. Dat is de stof die de stengel verstevigt, maar die ook de verteerbaarheid van gras vermindert: hoe meer lignine, hoe meer methaan. Verder kun je het aandeel zetmeel vergroten. In Nederland is daarom de afgelopen jaren meer snijmaïs door het voer gemengd. Maar te veel zetmeel is ook weer niet goed, want dan verzuurt de pens te veel en dat vertraagt de vertering.
Nog een maatregel is het goed inkuilen van het voer. Als je het gras te nat inkuilt, kan het gaan schimmelen. Bij beschimmeld voer verloopt de vergisting minder goed en neemt de koe minder voedingsstoffen uit het voer op. Dat is nadelig voor de melkproductie.

Door al deze maatregelen moet de methaanuitstoot van herkauwers met zeker 30 tot 40% terug te brengen zijn. Met anderhalf miljard koeien wereldwijd nemen die dan aardig wat gas terug.

Organisatie-niveau	Begrip
Biosfeer	
Ecosysteem	
Populatie	
Organisme	
Orgaanstelsel	
Orgaan	
Cel	
Molecuul	

opdrachten

1 Neem de tabel over en vul de begrippen in bij het juiste organisatieniveau. Kies uit: *archaeon – broeikaseffect – broeikasgas – gras – koe – lignine – methaangas – nitraat – ontbossing – pens – pensbacteriën – veevoerproductie – vergisting – voedselvertering – waterstof – zetmeel*.

2 Lignine is een polysacharide.
a Via welke organen heeft het gras de stoffen opgenomen om lignine te assimileren?
b Leg uit hoe vezelrijk veevoer door gisting wordt afgebroken.
c Aan welke voorwaarden moet zijn voldaan voor de vertering in de pens van de koe?
d Leg uit waardoor een toename van de concentratie waterstofionen de vergisting remt.

3 Verklaar dat het te gevaarlijk is om methaangas in een grote ruimte als een stal te verzamelen.

4 Als je melk verteert, komen aminozuren uit de melk in je lichaam.
a Van welke groep bouwstoffen in je lichaam gaan die aminozuren deel uitmaken?
b Wat gebeurt er in je lichaam met te veel opgenomen aminozuren?
c Melk bevat ook lactose (melksuiker). Lactose is het substraat van een enzym in ons verteringsstelsel dat lactose afbreekt tot twee moleculen glucose. Welk verteringsenzym kan lactose afbreken?

5 Om te kunnen bestaan, wisselen wij voortdurend stoffen en energie uit met onze omgeving.
a Vind je jezelf daardoor een geheel met je omgeving of toch een onafhankelijk individu?
b Inventariseer hoeveel klasgenoten zich een geheel voelen met de omgeving en hoeveel een onafhankelijk individu.

6 Een C-atoom wordt in een verbinding opgenomen door een grasplantje en uiteindelijk door jou uitgeademd.
Beschrijf in een logische volgorde de stofwisselingsprocessen in cellen en de organismen die dit C-atoom heeft doorlopen.

7 Het systeem gras, koe en bacteriën is in staat om het broeikasgas CO_2 om te zetten in methaan.
a Leg uit dat hierdoor het versterkte broeikaseffect toeneemt.
b Licht toe dat methaan uit milieuoogpunt beter kan worden verbrand dan ontsnappen naar de atmosfeer.

8 De onderzoekers hadden gehoopt dat de verminderde methaanproductie ten goede zou komen aan de melkproductie.
a Leg uit waardoor ze daarop hoopten.
b Bereken hoeveel ton methaangas door de koeien jaarlijks wereldwijd maximaal, door alle maatregelen samen, minder kan worden uitgestoten.

Practica

practicumopdracht 1

Waterstofperoxide en katalase

BASISSTOF 2

MATERIAAL
- een aardappel
- een mes
- 2 erlenmeyers van 100 mL
- waterstofperoxideoplossing van 3% (pas op met morsen!)
- een maatcilinder van 10 mL

Waterstofperoxide (H_2O_2) ontstaat als bijproduct van verschillende reacties in cellen. Waterstofperoxide kan schade in cellen veroorzaken. Het is dan ook belangrijk dat het snel uit de cellen verdwijnt. Alle cellen bezitten het enzym katalase, dat waterstofperoxide omzet in water en zuurstof: $2\ H_2O_2 \rightarrow 2\ H_2O + O_2$. In deze practicumopdracht onderzoek je wat de werking is van katalase.

METHODE
- Snijd een stukje aardappel in kleine blokjes en doe die in een van de erlenmeyers.
- Doe in beide erlenmeyers 10 mL waterstofperoxideoplossing.
- Voeg aan de erlenmeyer zonder aardappel water toe, totdat de inhoud van beide erlenmeyers gelijk is. Laat de erlenmeyers enkele minuten staan.
- Toon de ontstane zuurstof aan met een gloeiende houtspaander.

CONCLUSIE
Beantwoord de volgende vraag.

1 Waaraan kun je zien dat waterstofperoxide onder invloed van de stukjes aardappel wordt gesplitst in water en zuurstof?

practicumopdracht 2

De invloed van de pH op de activiteit van katalase

BASISSTOF 2

MATERIAAL
- afhankelijk van de methode

De werking van katalase is afhankelijk van de temperatuur en van de pH. In deze practicumopdracht onderzoek je de activiteit van katalase bij verschillende pH's. Voer het onderzoek uit met twee personen. Maak een verslag van het onderzoek.

ONDERZOEKSVRAAG
Formuleer een passende onderzoeksvraag die het verband aangeeft tussen de pH en het effect dat je wilt meten.

HYPOTHESE
Formuleer een bondige en duidelijke hypothese die past bij je onderzoeksvraag.

METHODE
Ontwerp een experiment om de activiteit van katalase onder verschillende omstandigheden te meten. Zorg ervoor dat je meetmethode valide en betrouwbaar is, maar ook uitvoerbaar binnen de beschikbare tijd. Bedenk een goede manier om de activiteit van het enzym te meten. Zorg er ook voor dat de behandelingen vergelijkbaar zijn.

RESULTAAT
Verwerk de gemeten resultaten overzichtelijk in een tabel en/of in een grafiek.

CONCLUSIE

Beantwoord de volgende vraag.

1 Wordt de hypothese bevestigd? Of kun je geen conclusie trekken?

DISCUSSIE

Beantwoord de volgende vragen.

2 Op welke onderdelen is de proef anders verlopen dan gepland?

3 Hoe zouden de validiteit en de betrouwbaarheid van je onderzoek (nog verder) kunnen worden verbeterd?

practicumopdracht 3

De vorming van zetmeel in een blad

▸▸ BASISSTOF 3

De glucose die bij fotosynthese ontstaat, wordt in bladeren van planten vrijwel onmiddellijk omgezet in zetmeel. Zetmeel kan worden aangetoond met een joodoplossing. Er treedt dan blauwkleuring op. In deze practicumopdracht onderzoek je de invloed van licht op de vorming van zetmeel in een blad.

MATERIAAL

- een plant waarvan de bladeren gedeeltelijk zijn afgedekt met aluminiumfolie en die achtereenvolgens 24 uur in het donker en 24 uur in het licht heeft gestaan
- bekerglazen van 500 mL en van 100 mL
- ethanol of spiritus
- een pincet
- een kookplaatje of heetwaterbad (100 °C)
- petrischaaltjes
- joodoplossing
- tekenpapier, tekenmateriaal
- een timer

ONDERZOEKSVRAAG

Wat is de invloed van belichting op de vorming van zetmeel in een blad?

HYPOTHESE

Alleen in delen van het blad die worden belicht, ontstaat zetmeel.

METHODE

- Pluk een gedeeltelijk afgedekt blad van de plant. Maak een tekening van dit blad. Breng intussen 250 mL water in het bekerglas van 500 mL aan de kook.
- Verwijder het aluminiumfolie van het blad. Dompel het blad een halve minuut in het kokende water. Het blad verliest dan zijn stevigheid. Doe de brander uit (veiligheid).
- Vul het bekerglas van 100 mL met 25 mL ethanol of spiritus.
- Haal met het pincet het blad uit het water. Doe het blad in het bekerglas met ethanol.
- Plaats het kleine bekerglas in het grote bekerglas. Het water in het grote bekerglas is nog heet genoeg om het ethanol of de spiritus aan de kook te brengen. Houd je hoofd niet boven het ethanol!
- Haal na enkele minuten het blad uit het ethanol. Het blad moet nu ontkleurd zijn.
- Spreid het blad uit op de petrischaal. Druppel voorzichtig joodoplossing over het hele blad.

RESULTAAT

Hoe ziet het blad eruit na de behandeling? Maak een tekening van het blad.

CONCLUSIE

Beantwoord de volgende vraag.

1 Vergelijk de delen van het blad die wel en niet belicht zijn. Welke conclusie kun je trekken?

practicumopdracht 4

Zuurstofverbruik door erwten

BASISSTOF 5

MATERIAAL

- 2 cilinderglazen met stop
- droge en geweekte erwten
- een kaars
- lucifers

In deze practicumopdracht onderzoek je de invloed van droge en kiemende erwten op de zuurstofconcentratie.

ONDERZOEKSVRAAG

In welke van de twee cilinders blijft de kaars het langst branden?

HYPOTHESE

Formuleer een passende hypothese bij de onderzoeksvraag.

METHODE

Beschrijf een methode om de onderzoeksvraag te kunnen beantwoorden.

RESULTAAT

Noteer in welk cilinderglas de kaars langer blijft branden.

CONCLUSIE

Beantwoord de volgende vraag.

1 Welke conclusie kun je trekken uit deze proef?

practicumopdracht 5

De intensiteit van de basale stofwisseling

BASISSTOF 6

MATERIAAL

- een spirometer
- een personenweegschaal
- een rekenmachine

Bij elk organisme vindt voortdurend stofwisseling plaats. Bij dieren en mensen is het zuurstofverbruik een maat voor de intensiteit van de dissimilatie. In deze practicumopdracht onderzoek je de intensiteit van de dissimilatie in rust bij meisjes en jongens.

ONDERZOEKSVRAAG

Is de intensiteit van de basale stofwisseling bij een meisje hoger dan, lager dan of gelijk aan die van een jongen?

HYPOTHESE

Er is geen verschil in de basale stofwisseling van meisjes en jongens.

METHODE

Bepaal met behulp van de spirometer het totale ademvolume gedurende een minuut van een meisje en een jongen in rust.

- Stel de spirometer op nul. Laat elke proefpersoon gedurende een halve minuut uitademen door de spirometer.
- Noteer de totale hoeveelheid uitgeademde lucht.
- Bepaal het gewicht van de proefpersonen.
- Bereken de hoeveelheid verbruikte zuurstof per minuut in liter. Ingeademde lucht bevat, afgerond, 20% zuurstof. Ga ervan uit dat een kwart van de zuurstof in de ingeademde lucht wordt verbruikt.
- Bereken de intensiteit van de stofwisseling in $L(O_2) \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$ bij een meisje en bij een jongen.

RESULTAAT

Noteer de uitslag van de spirometer en de berekening bij een meisje en bij een jongen.

CONCLUSIE

Beantwoord de volgende vraag.

1 Welke conclusie kun je trekken uit de vergelijking van de hypothese met de resultaten?

DISCUSSIE

Beantwoord de volgende vraag.

2 Op welke manieren zou je het resultaat van de metingen betrouwbaarder kunnen maken? Noteer er twee.

practicumopdracht 6

De intensiteit van de fotosynthese

BASISSTOF 6

MATERIAAL

- een takje waterpest van 5 cm lang
- een bekerglas van 250 mL
- een reageerbuis
- een felle lamp
- een thermometer
- 150 mL water op kamertemperatuur
- 150 mL water met een temperatuur van 40 °C
- 150 mL koolzuurhoudend water op kamertemperatuur

In afbeelding 1 is een proefopstelling weergegeven waarmee fotosynthese kan worden onderzocht. Als de opstelling in het licht wordt geplaatst, ontstaan er gasbelletjes. Deze worden in de reageerbuis opgevangen. In deze practicumopdracht onderzoek je de invloed van verschillende factoren op de intensiteit van de fotosynthese.

ONDERZOEKSVRAAG

Wat is de invloed van licht, temperatuur en de koolstofdioxideconcentratie op de intensiteit van de fotosynthese?

HYPOTHESE

Een hogere lichtintensiteit, temperatuur en koolstofdioxideconcentratie zorgen voor een sterkere fotosynthese.

METHODE

Maak een werkplan voor een experiment waarmee je de onderzoeksvraag kunt beantwoorden. Bekijk de materiaallijst en gebruik eventueel afbeelding 43 in basisstof 6.

RESULTAAT

Noteer je waarnemingen en zet de resultaten van je experiment uit in een tabel en/of grafiek.

CONCLUSIE

Formuleer op basis van je resultaten een conclusie.

DISCUSSIE

Maak een verslag van deze practicumopdracht.
Beantwoord in je verslag ook de volgende vragen.

1 Waarom wordt in dit onderzoek het aantal gasbelletjes per minuut genoteerd?

2 Waardoor is het aantal gasbelletjes per minuut in warm water (40 °C) hoger dan in water van kamertemperatuur?

3 Leg uit dat CO_2 in normaal water een beperkende factor is.

4 Wat is het verband tussen een sterkere fotosynthese en een hogere plantenopbrengst?

▼ **Afb. 1** Proefopstelling voor fotosyntheseonderzoek.



Samenvatting

LEERDOEL 1 ▸▸ BASISSTOF 1

Je kunt omschrijven wat stofwisseling, assimilatie en dissimilatie zijn en wat daarbij met de energie gebeurt.

- Stofwisseling: geheel van chemische processen in de cel.
 - Assimilatie: opbouw van organische moleculen uit kleinere moleculen. Hiervoor is energie nodig.
 - Dissimilatie: afbraak van organische moleculen tot kleinere moleculen. Hierbij komt energie beschikbaar.
- Koolstofassimilatie: de vorming van glucose uit koolstofdioxide en water.
 - Alleen autotrofe organismen zijn in staat tot koolstofassimilatie.
 - Fotosynthese: koolstofassimilatie met behulp van lichtenergie.
- Voortgezette assimilatie: vorming van koolhydraten, vetten, eiwitten en DNA uit glucose.
 - Bij voortgezette assimilatie ontstaan grote organische moleculen met energierijke bindingen.
 - Resultaat: vorming van de organische stoffen waaruit cellen bestaan.
 - De koolwaterstofbinding (C–H) is energierijk.
- Dissimilatie: chemische energie uit stoffen komt beschikbaar voor processen in cellen.
- In cellen wordt chemische energie getransporteerd door ATP (adenosinetrifosfaat).
 - Bij afsplitsing van een fosfaatgroep van ATP ontstaat ADP en komt energie beschikbaar.

LEERDOEL 2 ▸▸ BASISSTOF 2

Je kunt de bouw en werking van enzymen beschrijven.

- Enzymen katalyseren stofwisselingsreacties zonder daarbij zelf te worden verbruikt.
- Enzymen zijn eiwitmoleculen met een specifieke ruimtelijke structuur.
 - De reactie vindt plaats in het actieve centrum.
 - Het substraat is de stof waarop een enzym inwerkt.
 - Het substraatmolecuul past in het actieve centrum.
- Enzymatische reacties zijn vaak evenwichtsreacties: ze kunnen in twee richtingen verlopen.
- Een enzym wordt meestal genoemd naar het substraat: met het achtervoegsel -ase.

LEERDOEL 3 ▸▸ BASISSTOF 2

Je kunt de invloed van milieufactoren op de enzymactiviteit beschrijven.

- Enzymactiviteit: de hoeveelheid substraat die per tijdseenheid wordt omgezet.
- Temperatuur: beïnvloedt de enzymactiviteit volgens een optimumkromme.
 - Boven de optimumtemperatuur verliezen enzymmoleculen hun specifieke ruimtelijke structuur.
 - De invloed van de temperatuur op de enzymactiviteit is onomkeerbaar.
- Zuurgraad (pH): beïnvloedt de enzymactiviteit volgens een optimumkromme.
 - De pH van een zure oplossing is lager dan 7.
 - De pH van een basische oplossing is hoger dan 7.
 - De ruimtelijke structuur van enzymmoleculen blijft alleen bij de optimale pH in stand.
 - De invloed van de pH op de enzymactiviteit is omkeerbaar.

LEERDOEL 4 ▸▸ BASISSTOF 3

Je kunt de fotosynthese beschrijven.

- Fotosynthese:
 - koolstofdioxide + water → glucose + zuurstof
 - $6\ CO_2 + 6\ H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2$
- Fotosynthese vindt plaats in bladgroenkorrels.
 - Bladgroen: pigment dat lichtenergie kan absorberen.
 - In cellen van planten, algen en sommige bacteriën.
 - Lichtenergie wordt gebruikt voor vorming van ATP en splitsing van water in waterstof en zuurstof.
 - Waterstof en ATP worden samen met koolstofdioxide gebruikt voor de vorming van glucose.

LEERDOEL 5 ▸▸ BASISSTOF 4

Je kunt de voortgezette assimilatie beschrijven.

- De energiebron voor voortgezette assimilatie is ATP.
- Assimilatie van koolhydraten:
 - Twee monosachariden (bijv. glucose, fructose) vormen samen een disacharide (bijv. sacharose).
 - Vele monosachariden vormen samen een polysacharide (bijv. zetmeel, glycogeen, cellulose).
 - Koolhydraatreserve: bij planten zetmeel, bij dieren glycogeen.
- Assimilatie van eiwitten.
 - Eiwitten zijn ketens van aminozuren. Er zijn twintig verschillende aminozuren.
 - Primaire structuur: typen en volgorde van aminozuren in het eiwit.
 - Secundaire structuur of helix: specifieke ruimtelijke vorm van het eiwit.
 - Planten kunnen aminozuren opbouwen uit glucose en stikstofhoudende ionen, vooral nitraationen (NO_3^-).
 - Dieren kunnen alleen aminozuren opbouwen uit andere aminozuren.
- Assimilatie van vetten.
 - Triglyceride: glycerol en drie vetzuren.
 - Fosfolipide: glycerol, twee vetzuren en een fosfaatgroep.

- Vetten worden opgeslagen als reservebrandstof.
- Celmembranen zijn opgebouwd uit fosfolipiden.
- Vetzuurstaarten zijn hydrofoob (waterafstotend).
- De fosfaatgroep van een fosfolipide is hydrofiel (waterminnend).

- Opslag van assimilatieproducten in planten:
 - Omzetting van glucose in zetmeel voorkomt dat de osmotische waarde van bladcellen te veel stijgt.
 - Reservestoffen: opslag in ondergrondse delen (wortels, knollen, bollen) en in zaden.

LEERDOEL 6 ▸▸ BASISSTOF 5

Je kunt de aerobe en anaerobe dissimilatie van glucose beschrijven.

- Dissimilatie van glucose levert de energie voor de vorming van ATP.
- Aerobe dissimilatie van glucose: verbranding.
 - De verbranding vindt plaats in mitochondriën.
 - glucose + zuurstof → koolstofdioxide + water + ATP
 $C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 \rightarrow 6\ CO_2 + 6\ H_2O + 30\ ATP$
- Anaerobe dissimilatie van glucose: gisting.
 - Per glucosemolecuul worden slechts twee ATP-moleculen gevormd.
 - Energierijke eindproducten: alcohol of melkzuur.
- Alcoholgisting: glucose wordt omgezet in alcohol (ethanol) en CO_2.
 - $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2\ C_2H_6O + 2\ CO_2 + 2\ ATP$
- Melkzuurgisting: glucose wordt omgezet in melkzuur.
 - $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2\ C_3H_6O_3 + 2\ ATP$
 - Melkzuurgisting vindt plaats in spieren wanneer in korte tijd veel energie moet worden geleverd.
- In de biotechnologie wordt gebruikgemaakt van de stofwisseling van micro-organismen.
 - Alcoholgisting wordt toegepast bij de bereiding van bier, wijn en brood.
 - Melkzuurgisting wordt toegepast bij de bereiding van kaas, yoghurt en zuurkool.
 - Genetische modificatie van micro-organismen: bijv. voor de productie van biobrandstof.

LEERDOEL 7 ▸▸ BASISSTOF 5

Je kunt de dissimilatie van eiwitten en vetten beschrijven.

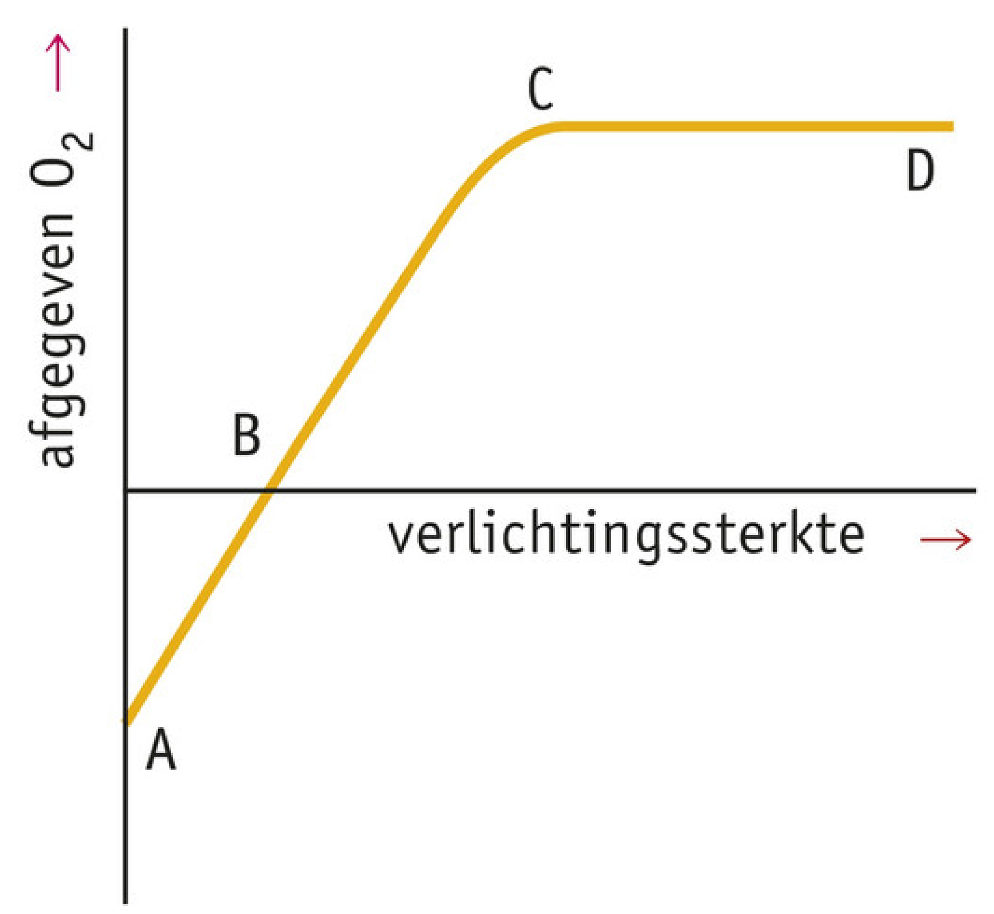
- Afbraak van eiwitten.
 - Eiwitten worden gesplitst in aminozuren.
 - Van de aminozuren wordt de aminogroep afgesplitst en omgezet in ammoniak.
 - De overblijvende koolstofketen wordt omgezet in een andere stof en verbrand in de mitochondriën.
- Afbraak van vetten.
 - Vetten worden gesplitst in glycerol en vetzuren.
 - Glycerol en vetzuren kunnen worden omgezet in andere stoffen en verbrand in de mitochondriën.

LEERDOEL 8 ▸▸ BASISSTOF 6

Je kunt de voorwaarden voor het fotosyntheseproces in planten benoemen.

- Intensiteit van de stofwisseling:
 - verbruik van O_2 en productie van CO_2;
 - door verbranding (mensen) en fotosynthese (planten).
- Intensiteit van de fotosynthese is afhankelijk van:
 - factoren licht, water, CO_2, bladgroen en temperatuur.
 - De minst beschikbare factor is de beperkende factor.
- Intensiteit van de fotosynthese bepalen:
 - in het donker: meten O_2-opname (of CO_2-afgifte);
 - in het licht: meten O_2-afgifte (of CO_2-opname);
 - O_2-productie = O_2-opname + O_2-afgifte;
 - CO_2-verbruik = CO_2-afgifte + CO_2-opname.
- Bij afbeelding 1:
 - tussen A en C: licht is de beperkende factor;
 - tussen A en B: intensiteit van de verbranding is hoger dan intensiteit van de fotosynthese;
 - compensatiepunt B: intensiteit van de verbranding is gelijk aan intensiteit van de fotosynthese;
 - tussen B en D: intensiteit van de verbranding is lager dan intensiteit van de fotosynthese.

▼ **Afb. 1** Intensiteit van de fotosynthese.



COMPETENTIES/VAARDIGHEDEN

Je hebt de volgende vaardigheden geoefend:

- doelgericht zoeken van informatie;
- mondeling communiceren over natuurwetenschappelijke onderwerpen;
- analyseren welke rol de stofwisseling heeft in natuurwetenschappelijk onderzoek;
- toepassen van verschillende fasen van natuurwetenschappelijk onderzoek;
- uitvoeren van een natuurwetenschappelijk onderzoek;
- evalueren van een natuurwetenschappelijk onderzoek;
- verzamelen, bewerken en overzichtelijk weergeven van data;
- vorm-functiedenken op het niveau van moleculen.

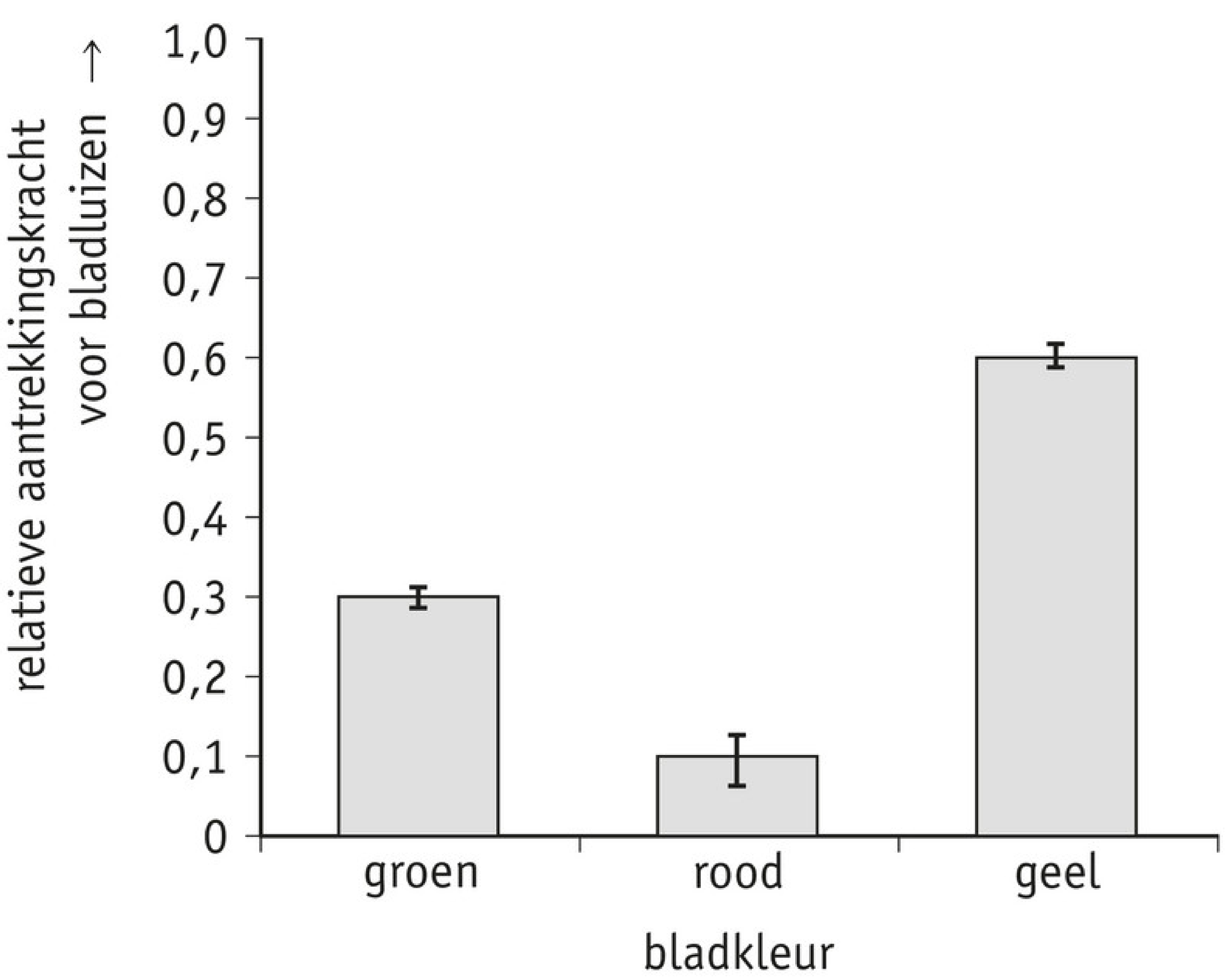
Examentrainer

HERFSTROOD

Bron: examen havo 2015-1, vraag 39 tot en met 42.

Een loofbos kan in de herfst dieprood kleuren. Het is duidelijk waardoor bladeren geel worden: het bladgroen wordt afgebroken waarbij gele kleurstoffen ontstaan. Het rode pigment anthocyaan maakt de boom in de herfst speciaal aan. En dat is vreemd, want even later dwarrelen diezelfde bladeren met de herfstwind weg. Sommige biologen menen dat bomen waarvan de bladeren rood kleuren, onaantrekkelijk worden voor bladluizen. Die insecten leggen in de herfst hun eitjes in de bladoksels van bomen. In de lente komen daaruit nieuwe luizen tevoorschijn die schadelijk zijn voor de boom, zeker aan het begin van het groeiseizoen. Andere biologen bestrijden deze theorie. De ogen van bladluizen hebben volgens hen geen fotoreceptoren voor de kleur rood, dus volgens hen ziet een bladluis het verschil tussen een rood en een groen blad niet. Volgens deze biologen is de productie van anthocyaan in bladeren een reactie op stress. Britse biologen hebben de kleurvoorkeur van bladluizen in de herfst in kaart gebracht. Dat deden ze door een aantal vallen in verschillende kleuren te verven en buiten neer te zetten. In totaal vingen ze in twee weken 2109 bladluizen. De resultaten van het onderzoek staan in afbeelding 1. Uit het resultaat blijkt dat bladluizen wel degelijk het verschil tussen rood en groen kunnen waarnemen.

Afb. 1 Aantrekkingskracht voor bladluizen.



De herfstkleuren geel en rood ontstaan door assimilatie of door dissimilatie van pigmenten. Hierover worden vier beweringen gedaan:

1 De kleur geel ontstaat doordat chlorofyl wordt geassimileerd.
2 De kleur geel ontstaat doordat chlorofyl wordt gedissimileerd.
3 De kleur rood ontstaat doordat anthocyaan wordt geassimileerd.
4 De kleur rood ontstaat doordat anthocyaan wordt gedissimileerd.

2p **1** Welke van deze beweringen zijn juist?
A alleen 1 en 3
B alleen 1 en 4
C alleen 2 en 3
D alleen 2 en 4

In de tekst staan zowel hypothesen, resultaten als conclusies.

1p **2** Geef een voorbeeld van een hypothese uit de tekst.

3p **3** Leg uit, aan de hand van de informatie uit de tekst, dat in de loop van de evolutie steeds meer boomsoorten anthocyaan zijn gaan produceren.

Planten hebben twee typen vaten om stoffen door wortel, stengel en bladeren te vervoeren: hout- en bastvaten.

2p **4** Welk van deze typen vaten boren bladluizen aan om aan energierijke stoffen te komen? Zijn dit dan anorganische of organische stoffen?
A bastvaten, om anorganische stoffen op te nemen
B bastvaten, om organische stoffen op te nemen
C houtvaten, om anorganische stoffen op te nemen
D houtvaten, om organische stoffen op te nemen

BLOEMEN EN BIJTJES

Bron: examen havo 2013-2, vraag 10 tot en met 14.

Veel planten hebben bijen nodig om stuifmeel van de ene naar de andere bloem te brengen. Maar daar gaat het bijen niet om. Bijen bezoeken bloemen niet om stuifmeel van de ene bloem naar de andere te brengen, maar om voedsel te verzamelen. De koolhydraten, aminozuren, vitaminen en sporenelementen die een bij nodig heeft, worden door de bloem geleverd in de vorm van nectar en stuifmeel. Bijen zijn afhankelijk van bloemen om te kunnen overleven.

2p **5** Hoe wordt de symbiotische relatie tussen bijen en planten genoemd?
A commensalisme
B coöperatie
C mutualisme
D parasitisme

Stuifmeel is rijk aan eiwitten, vetten en suikers. Nectar bestaat uit water en glucose. Bijen bewerken nectar tot lang houdbare glucoserijke honing. Onbewerkt stuifmeel zou in een bijenkast meteen beschimmelen. Bijen maken er daarom 'bijenbrood' van: lang houdbare stuifmeelbrokken verpakt in een laagje honing.

2p **6** Welke stof of welke stoffen heeft een plant nodig om nectar te maken?
- A alleen CO_2
- B alleen H_2O
- C alleen NO_3
- D alleen CO_2 en H_2O
- E alleen CO_2 en NO_3
- F CO_2, H_2O en NO_3

In planten kunnen de volgende processen voorkomen:
1. koolstofassimilatie;
2. stikstofassimilatie;
3. eiwitsynthese;
4. gisting.

2p **7** Welke processen vinden in een plant plaats om de vorming van stuifmeel mogelijk te maken?
- A alleen 1 en 2
- B alleen 1 en 3
- C alleen 1 en 4
- D alleen 1, 2 en 3
- E alleen 1, 2 en 4
- F alleen 2, 3 en 4

Bijenbrood maakt het stuifmeel langer houdbaar doordat het honinglaagje schimmelsporen verhindert uit te groeien tot schimmeldraden. Bij het conserveren van jam doen wij eigenlijk hetzelfde door suiker aan de vruchten toe te voegen.

2p **8** Leg uit waardoor het laagje honing om de stuifmeelbrokken verhindert dat er schimmel groeit.

Een bijenvolk dat het meeste voedsel verzamelt, heeft de beste overlevingskansen. Voor bijen is het daarom gunstig om bloemen te vinden met zo veel mogelijk nectar en stuifmeel. Maar voor de plant is het juist voordelig dat er per bloem zo min mogelijk nectar en stuifmeel wordt aangeboden.

2p **9** Leg uit waardoor dit voor de plant meer voortplantingskansen biedt.

OP TWAALF KERSTBOMEN NAAR PARIJS RIJDEN!

Bron: examen havo 2013-1, vraag 34 tot en met 37.

Op twaalf kerstbomen naar Parijs rijden. Als het proces waar nu nog aan wordt gewerkt gereed is, kan houtafval een interessante bron worden voor de bereiding van ethanol. Daarop kunnen auto's op een milieuvriendelijker manier rijden dan op benzine, diesel of gas. Men verwacht dat dit binnen een aantal jaren mogelijk is. De moeilijkheid was om de organische moleculen, die in het houtafval aanwezig zijn, met behulp van schimmels snel om te zetten. Op dit moment heeft men de enzymen die cellulose en houtstof omzetten in suikers, wel in handen. Bij de vergisting van deze suikers ontstaat ethanol. Er wordt al bio-ethanol verkregen uit koolhydraten die in voedingsgewassen zoals tarwe, maïs en suikerbieten zitten. Maar de weerstand tegen het gebruik van voedingsgewassen voor het verkrijgen van bio-ethanol wordt steeds groter.

2p **10** Leg uit waardoor het gebruik van fossiele brandstof wel bijdraagt aan een versterkt broeikaseffect en het gebruik van bio-ethanol uit kerstbomen niet.

1p **11** Waardoor komt er steeds meer weerstand om voedingsgewassen om te zetten in bio-ethanol die als autobrandstof wordt gebruikt?

Om de koolhydraten om te zetten in ethanol, wordt gebruikgemaakt van gistcellen. Er is een groot verschil tussen de gistsoort die koolhydraten uit voedingsmiddelen omzet in ethanol en de gistsoort die houtafval gebruikt. Het is een Nederlandse firma gelukt om nieuwe gistvarianten te maken waardoor uit houtafval ethanol kan worden geproduceerd. Hiervoor moeten de gistcellen cellulose als substraat gebruiken.

2p **12** Wat heeft men aan de bestaande gistcellen veranderd om dit mogelijk te maken?
- A de enzymen, zodat ze in staat waren om cellulose om te zetten in plaats van zetmeel
- B de genetische informatie, zodat er enzymen kunnen worden gemaakt die in staat zijn om cellulose om te zetten in plaats van zetmeel
- C de ribosomen, zodat die enzymen maakten die cellulose konden omzetten in plaats van zetmeel
- D het celmembraan, zodat de gistcellen in staat waren om cellulose op te nemen in plaats van zetmeel

2 DNA

Een DNA-molecuul bevat de code voor de erfelijke informatie van een organisme. De code levert de instructies voor de zelforganisatie, zelfregulatie en reproductie van een organisme. Bij celdeling wordt de erfelijke informatie doorgegeven aan dochtercellen. De erfelijke informatie in het DNA bepaalt hoe de eigenschappen in een organisme tot uiting komen. Door wijzigingen in het DNA kunnen erfelijke eigenschappen veranderen.

ONTDEKKEN
Waarom komt ouderdom met gebreken? 50

BASISSTOF
1 De bouw en functie van DNA 52
2 DNA-replicatie 58
3 Eiwitsynthese 63
4 Genexpressie 69
5 Mutaties 78
6 Biotechnologie 85

SAMENHANG
Gendoping 90

PRACTICA 92

SAMENVATTING 93

EXAMENTRAINER 96







Waarom komt ouderdom met gebreken?

BASISSTOF 2

Vrijwel iedereen wil oud worden, maar oud zijn vinden we in de regel minder aantrekkelijk. Terwijl de een geniet van zijn oude dag, breekt voor de ander een tijd aan van gebreken en eenzaamheid. Wereldwijd sterven honderdvijftigduizend mensen per dag. Daarvan sterven honderdduizend mensen aan ouderdomsgebreken.

Een schande, meent verouderingsonderzoeker Aubrey de Grey. Waarom laten we zoiets gebeuren, vraagt hij zich af. Is het aftakelingsproces dan iets onvermijdelijks, iets van een hogere orde wat we niet mogen verstoren? Waarom zijn we niet onsterfelijk?
Ook professor Andrea Maier verbaast zich erover.
Als verouderingsonderzoeker werkt ze aan het Leids Universitair Medisch Centrum. Zij onderzoekt wat er precies in ons lichaam gebeurt waardoor we aftakelen en uiteindelijk doodgaan.

Delende cellen

Verouderingsonderzoeker Leonard Hayflick ontdekte in 1962 dat het aantal keren dat een cel zich kan delen, beperkt is. Dat aantal staat nu bekend als de Hayflick-limiet en heeft te maken met de lengte van de telomeren. Na vijftig delingen is de cel gedoemd te sterven: de celkern valt uit elkaar, het DNA verbrokkelt en de cel verschrompelt. Een lichaam bestaat uit ongeveer $100 \cdot 10^{12}$ cellen. Daarvan sterven elke dag rond de $50 \cdot 10^9$ cellen. Dat zou betekenen dat er na vijfenhalf jaar geen cel meer over is.

Gelukkig beschikken de meeste weefsels, zoals dekweefsel, beenweefsel en spierweefsel, over stamcellen waaruit zich nieuwe cellen kunnen ontwikkelen. Dat betekent dat veel organen zichzelf kunnen herstellen.
Dat geldt voor de huid, de botten en de spieren, maar ook voor de lever, de darmen en de longen. Ook bloedcellen worden steeds opnieuw aangemaakt. Helaas beginnen de stamcellen na je dertigste te verouderen. Schadelijke stoffen hopen zich op in de stamcellen en het DNA raakt beschadigd. Maar het is nog erger. Er zijn ook organen die niet beschikken over eigen stamcellen. En laten dat nu juist onze belangrijkste organen zijn: het hart en de hersenen. De slijtage van juist deze organen is de voornaamste oorzaak van onze ouderdomsproblemen. De cellen van

▼ **Afb. 1** Aubrey de Grey.



▼ **Afb. 2** Andrea Maier.



deze organen stoppen met delen, zodra de Hayflick-limiet wordt overschreden.

Ouderdomskwalen

Tot je dertigste gaat het goed. Daarna beginnen de cellen te verouderen wat uiteindelijk leidt tot ouderdomskwalen. Het afweersysteem gaat minder goed functioneren, waardoor de kans op infectieziekten en kanker toeneemt. De filterende werking van de nieren wordt minder, waardoor de zoutbalans in het lichaam uit evenwicht raakt met een hoge bloeddruk tot gevolg. In de darmen ontstaan poliepen en de spiermassa neemt af. Normaal wordt glucose in de vorm van glycogeen in de spieren opgeslagen. Door de afgenomen spiermassa blijft een deel van de glucose in het bloed. De kans op ouderdomsdiabetes neemt daardoor toe. Ouderen bewegen minder dan jonge mensen, waardoor het lichaamsgewicht toeneemt en gewrichten extra worden belast. Doordat zenuwcellen worden aangetast, wordt de reactiesnelheid minder. Ook de coördinatie wordt minder, doordat zenuwcellen in de kleine hersenen achteruitgaan. Het gevolg is dat ouderen meer kans hebben om te vallen. Doordat ouderen veelal minder buiten komen, komt de huid minder in aanraking met het zonlicht en wordt er minder vitamine D gevormd. Door het tekort aan vitamine D wordt er minder calcium in de botten opgenomen. Een valpartij leidt dan al gauw tot botbreuken.

Intussen gaat Andrea Maier door met haar onderzoek. ‘Want als we weten wat de oorzaken zijn van veroudering, kunnen we er ook iets aan doen,’ zegt ze. Toch zal het nog wel even duren voordat we honderdplussers een vogelnestje zien maken in de ringen.

opdrachten

De gemeente waar jij woont, vindt de fysieke en mentale gezondheid van senioren van groot belang. Ze wil dat ouderen zo lang mogelijk zelfstandig, onafhankelijk en gezond kunnen blijven wonen en leven.

Gezond en succesvol ouder worden gaat niet alleen om het voorkomen en uitstellen van ziekte en sterfte, stelt de gemeente. Het gaat ook om de preventie van beperkingen in het functioneren, het voorkomen van verlies van zelfredzaamheid en het terugdringen van afhankelijkheid van de zorg. Om dat te bereiken wil de gemeente eens per jaar voorlichting geven over veroudering. Daarnaast biedt de gemeente ouderen een individuele test aan. Aan de hand hiervan krijgen ouderen een op maat gesneden advies, zodat zij langer vitaal kunnen blijven. De gemeente heeft hiervoor een team samengesteld dat bestaat uit een sportconsulent, een verpleegkundige, een ergotherapeut, een diëtist en een maatschappelijk werker. Eén daarvan ben jij.

1 Voor de voorlichting hecht de gemeente eraan dat ouderen goed worden geïnformeerd over de oorzaken van veroudering en verschillende ouderdomsverschijnselen. Het zal de motivatie om de adviezen op te volgen vergroten.
Bereid met elkaar een voorlichtingsavond voor over veroudering.
- Kies zelf een vorm voor de presentatie.
- Laat in elk geval de volgende begrippen terugkomen: mitose, chromatiden, DNA-replicatie, vrije DNA-nucleotiden, DNA-polymerase, S-fase en telomeren.
- Leg uit hoe het komt dat cellen slechts vijftig keer kunnen delen.

2 **a** Maak een mindmap met elkaar over ouderdomsverschijnselen.
b Elk teamlid kiest een van de ouderdomsverschijnselen en werkt dit uit voor de presentatie. Leg uit welke gevolgen het verouderen van cellen heeft voor het betreffende orgaan en wat de relatie is met het ouderdomsverschijnsel.
c Elk teamlid bereidt een test voor die aansluit bij het gekozen ouderdomsverschijnsel. De test meet de vaardigheden van de ouderen. Bedenk hoe je de vaardigheid gaat meten en hoe je gaat beoordelen of iemand voldoende of onvoldoende presteert. Bespreek elkaars testen met elkaar en oefen ze eventueel met elkaar.
d Welke algemene adviezen kun je ouderen geven om langer vitaal te kunnen blijven?

3 **a** Ga na wat jouw gemeente daadwerkelijk doet op dit gebied.
b Wat is jullie mening hierover? Welke adviezen kun je de gemeente geven?

Misschien is het mogelijk dat jullie je presentatie aanbieden bij de gemeente.

Leerdoel
– Je kunt de bouw en functies van DNA beschrijven.

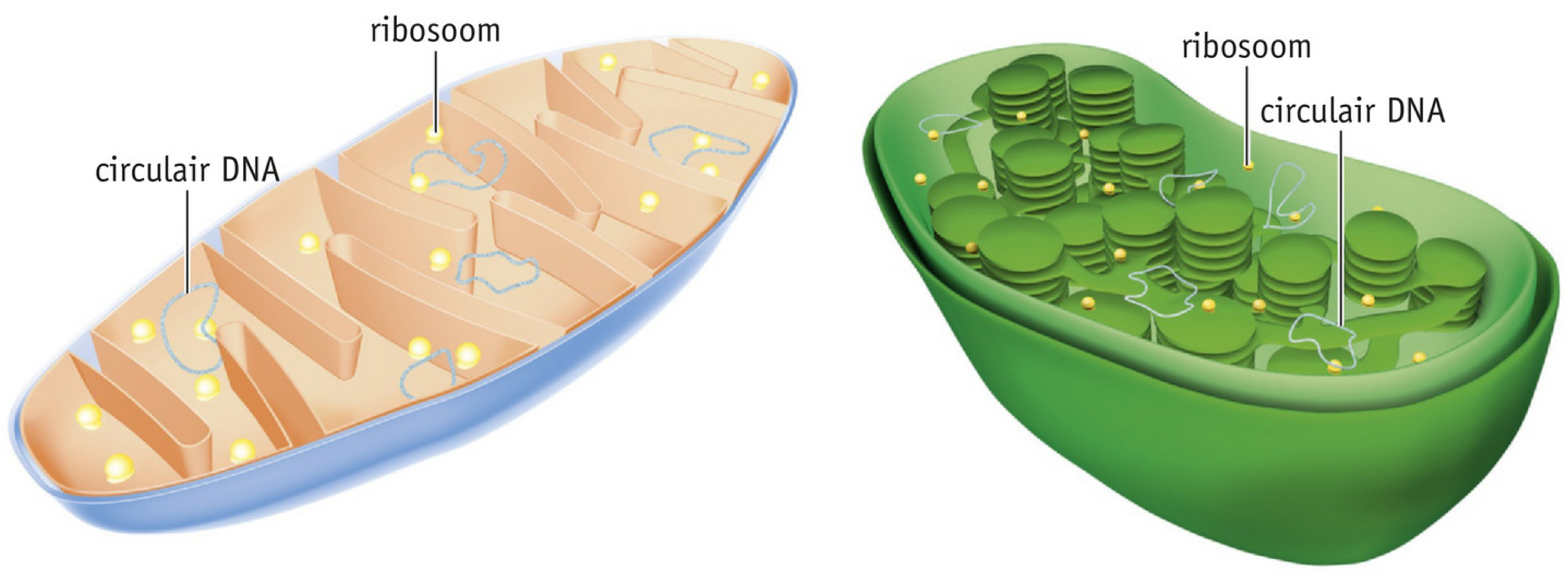
1 De bouw en functie van DNA

Tussen het DNA van twee organismen van dezelfde soort bestaan veel overeenkomsten. Van het DNA in de chromosomen bij mensen komt 99,5% overeen. Toch zijn mensen heel verschillend.

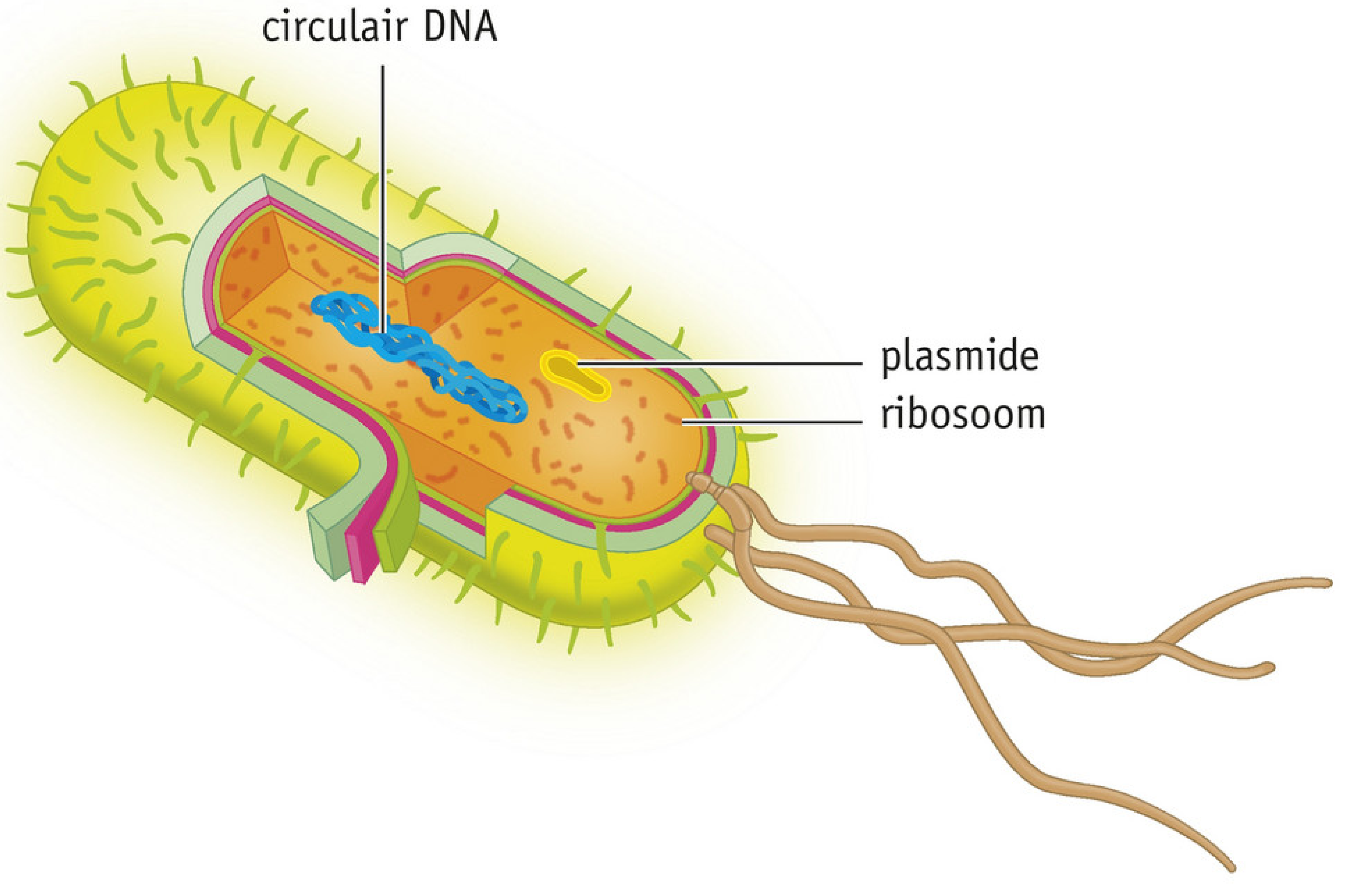
HET GENOOM

Je lichaam is opgebouwd uit veel verschillende cellen die verschillende functies hebben. Bijna elke cel heeft een celkern met daarin **DNA** (desoxyribonucleïnezuur) dat de informatie voor je erfelijke eigenschappen bevat. Het DNA bepaalt de functie van een cel en levert de instructies waarmee ribosomen in de cel verschillende soorten eiwitten kunnen synthetiseren. De bouw van een eiwit bepaalt de eigenschappen en functie(s) van het eiwit. Enkele eiwitten zijn bijvoorbeeld verantwoordelijk voor de kleur van je ogen, je bloedgroep en je lichaamslengte.
Het geheel aan erfelijke informatie in een cel van een organisme noem je het **genoom**. Alle cellen van een organisme hebben hetzelfde genoom. Bij eukaryoten omvat het genoom het DNA in alle chromosomen in de celkern (**kernDNA**) en het DNA in mitochondriën (**mtDNA**) en bladgroenkorrels (zie afbeelding 1). Mitochondriën en bladgroenkorrels functioneren onafhankelijk van de rest van de cel. Ze gebruiken hiervoor de informatie die vastligt in hun eigen DNA.
Bij prokaryoten vormt al het DNA dat los in het cytoplasma van de cel voorkomt het genoom. Prokaryoten hebben een circulair DNA-molecuul. Sommige prokaryoten bezitten **plasmiden**: korte stukjes circulair DNA (zie afbeelding 2).

▼ **Afb. 1** Mitochondriën en bladgroenkorrels bezitten hun eigen DNA.



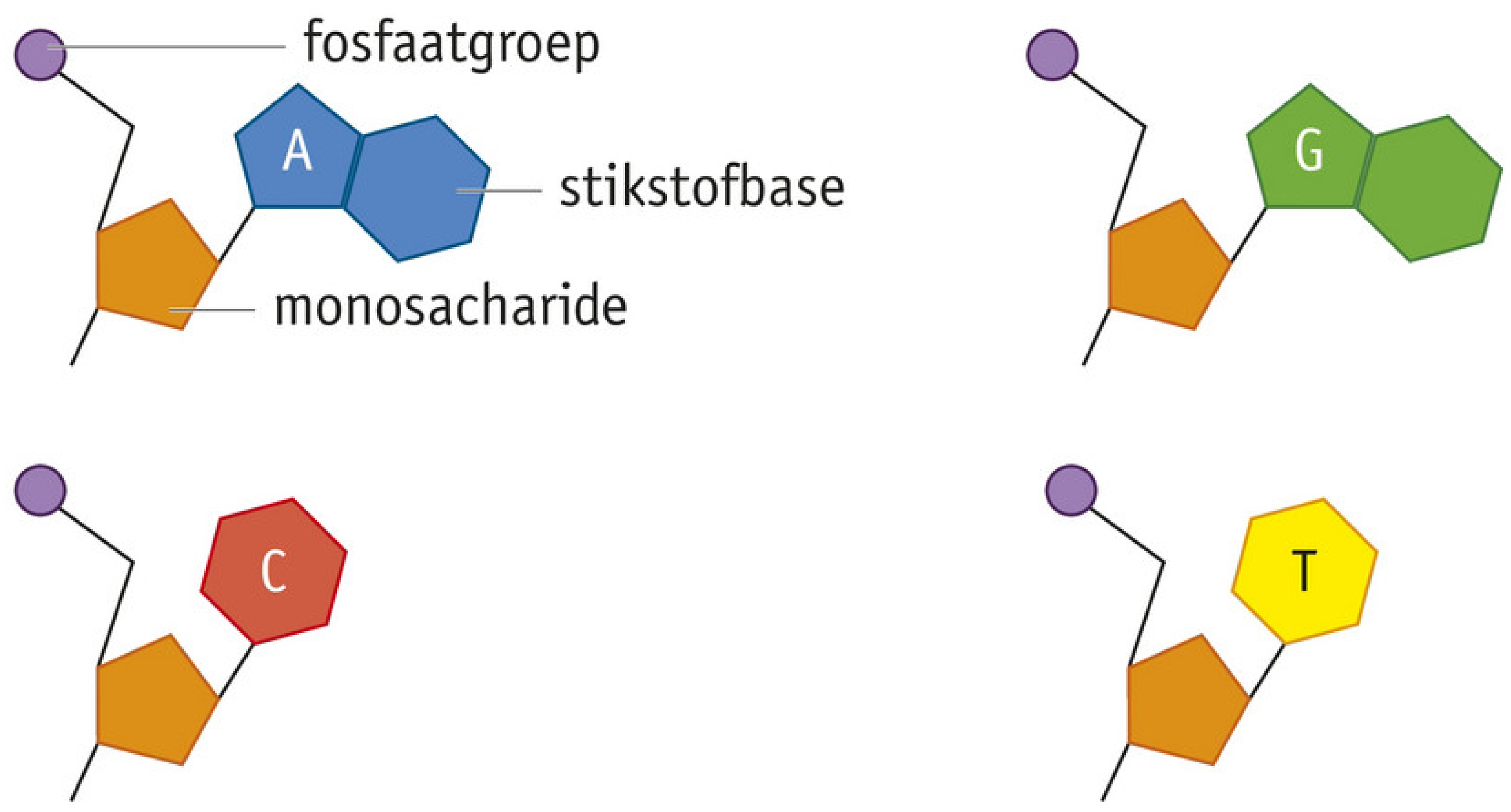
▶ **Afb. 2** Een bacterie met een circulair DNA-molecuul en plasmiden.



DE BOUW VAN DNA

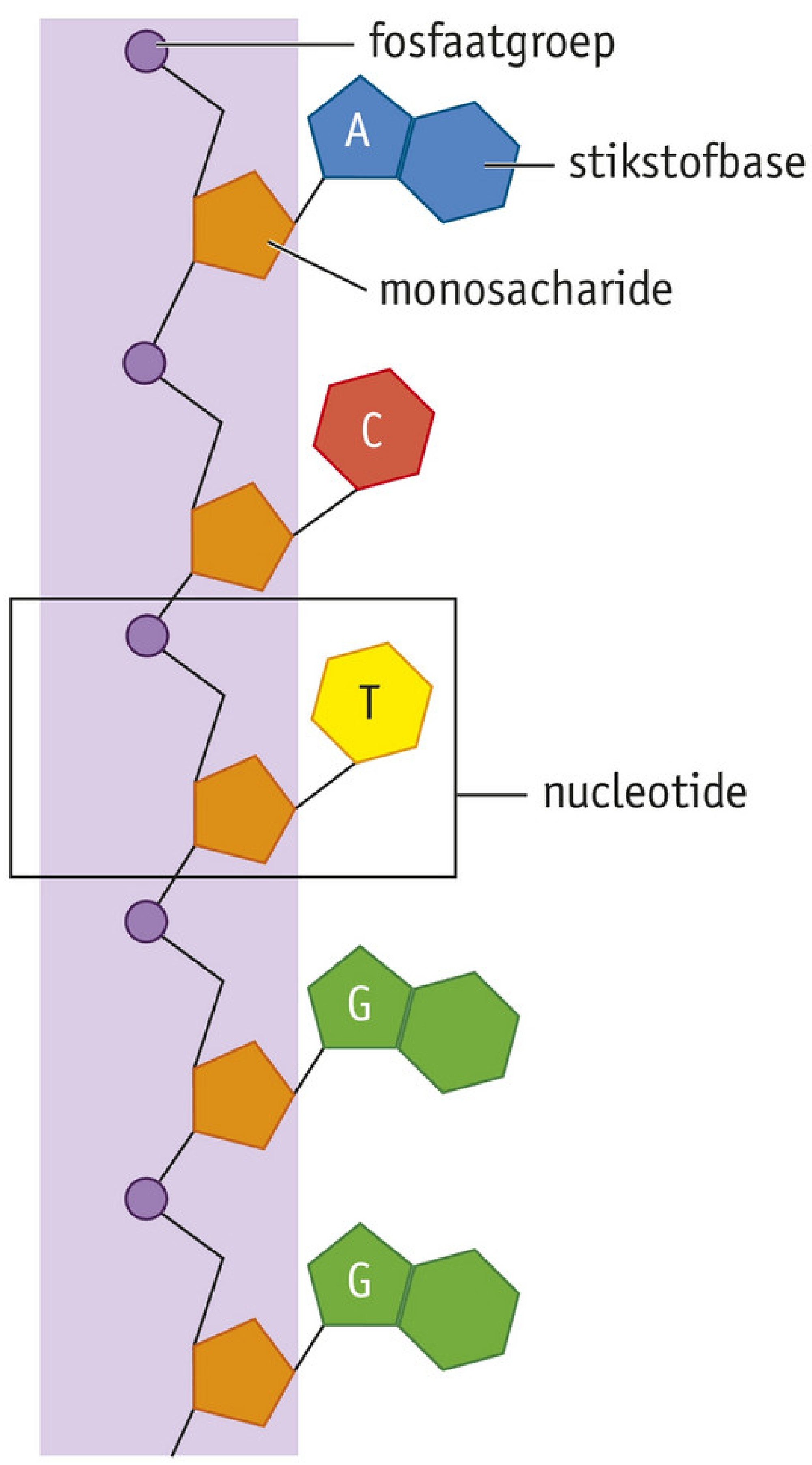
Een DNA-molecuul is een **nucleïnezuur**. Nucleïnezuren werden voor het eerst ontdekt in een celkern (nucleus). Later bleek dat ook in het cytoplasma nucleïnezuren voorkomen. DNA bestaat uit twee ketens van aan elkaar gekoppelde nucleotiden. Een **nucleotide** is opgebouwd uit de monosacharide **desoxyribose**, een fosfaatgroep en een stikstofbase (zie afbeelding 3). De stikstofbasen die in DNA-moleculen voorkomen, zijn **adenine** (A), **thymine** (T), **cytosine** (C) en **guanine** (G).

▶ **Afb. 3** Nucleotiden in DNA.

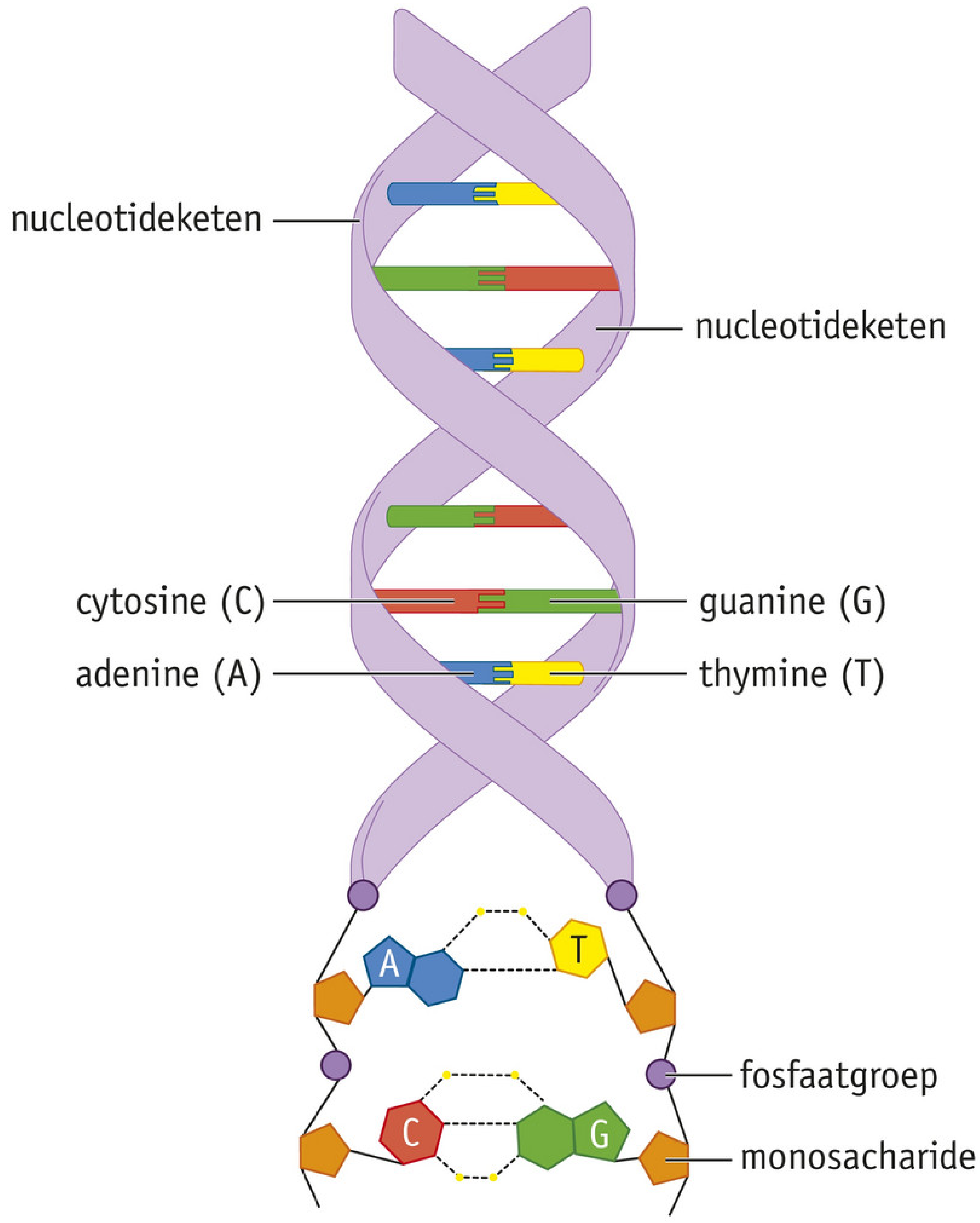


Bij het aan elkaar koppelen van nucleotiden gaat desoxyribose een binding aan met de fosfaatgroep van het volgende nucleotide. Zo ontstaat een lange keten van afwisselend aan elkaar gekoppelde monosachariden en fosfaatgroepen. Zo'n keten noem je **enkelstrengs DNA** (zie afbeelding 4).

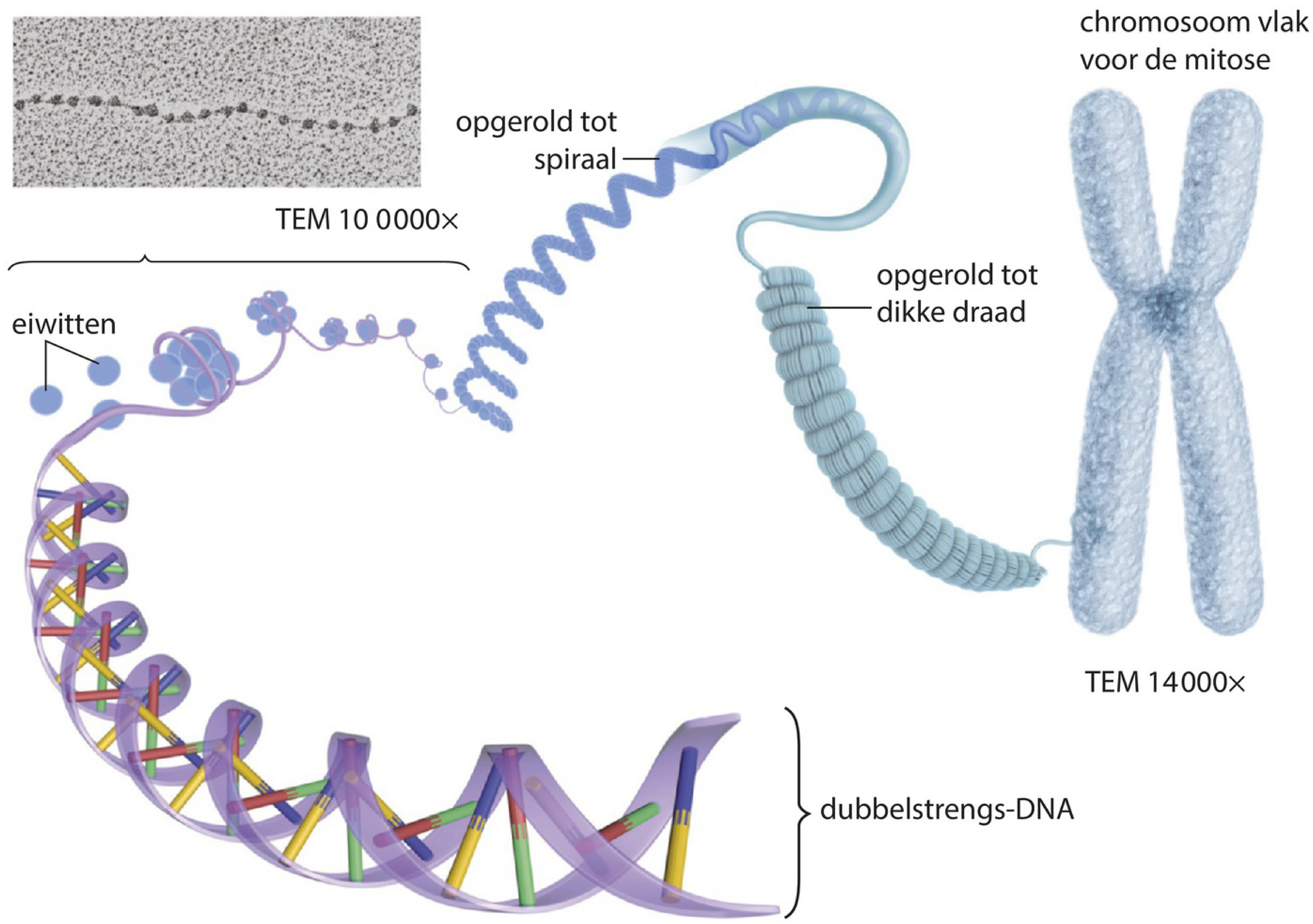
▶ **Afb. 4** Aan elkaar gekoppelde nucleotiden in enkelstrengs DNA.



De stikstofbasen steken aan de zijkant uit de keten en kunnen twee DNA-nucleotideketens met elkaar verbinden. De twee nucleotideketens worden met elkaar verbonden door **basenparing**. Elke stikstofbase heeft een vaste bindingspartner: adenine vormt een **basenpaar** met thymine en guanine met cytosine. Hierdoor ontstaat **dubbelstrengs DNA** waarin de ketens een **helixstructuur** (spiraalvorm) hebben (zie afbeelding 5).



Afb. 5 Twee nucleotideketens in een helixstructuur vormen dubbelstrengs DNA.



Afb. 6 Een DNA-molecuul van een eukaryoot wordt compacter gemaakt.

Bij eukaryoten is het DNA in de celkern verdeeld over verschillende chromosomen. Elk chromosoom bestaat uit een enkel, zeer lang dubbelstrengs DNA-molecuul. Het langste DNA-molecuul in een chromosoom van de mens is ongeveer vijf centimeter. Een DNA-molecuul past in een celkern doordat het een compacte vorm heeft. Afhankelijk van de fase van de celcyclus waarin de cel verkeert, is een DNA-molecuul strakker of losser opgerold. Het DNA is rond een aantal eiwitten gewikkeld (zie afbeelding 6). Voorafgaand aan een celdeling wordt het DNA opgerold tot een spiraal (spiraliseren) die verder wordt opgerold tot een dikkere draad. Door lussen en vouwen kan het DNA nog compacter worden.

DNA-SEQUENTIE

De volgorde waarin nucleotiden in een DNA-molecuul zijn gerangschikt, noem je een **sequentie** (zie afbeelding 7). Een **gen** is een deel van een DNA-molecuul dat de code (DNA-sequentie) bevat waarmee ribosomen een of meer eiwitten kunnen synthetiseren. Doordat in de DNA-sequentie variaties voorkomen, zullen ribosomen verschillende soorten eiwitten synthetiseren.

▼ **Afb. 7** Een sequentie van nucleotiden in een enkelstrengs DNA-molecuul.

```
GATATTAGGTCCTGATTGCTAGCTAGCTAGCTAGCTAGCT
ATCGTCGATCGATCGATCGATTGGCTATCGATCGATCGAT
ATTCCGAGCTAGCTATATAGCTAGCTAGCTAGCTAGCGTA
TCGATCGCTGCTAGCTATATCCGATGCGCTATGCTAGCTG
GATATTAGGTCCTGATTGCTAGCTAGCTAGCTAGCTAGCT
ATCGTCGATCGATCGATCGATTGGCTATCGATCGATCGAT
ATTCCGAGCTAGCTATATAGCTAGCTAGCTAGCTAGCGTA
TCGATCGCTGCTAGCTATATCCGATGCGCTATGCTAGCTG
GATATTAGGTCCTGATTGCTAGCTAGCTAGCTAGCTAGCT
ATCGTCGATCGATCGATCGATTGGCTATCGATCGATCGAT
ATTCCGAGCTAGCTATATAGCTAGCTAGCTAGCTAGCGTA
TCGATCGCTGCTAGCTATATCCGATGCGCTATGCTAGCTG
GATATTAGGTCCTGATTGCTAGCTAGCTAGCTAGCTAGCT
ATCGTCGATCGATCGATCGATTGGCTATCGATCGATCGAT
ATTCCGAGCTAGCTATATAGCTAGCTAGCTAGCTAGCGTA
TCGATCGCTGCTAGCTATATCCGATGCGCTATGCTAGCTG
GATATTAGGTCCTGATTGCTAGCTAGCTAGCTAGCTAGCT
ATCGTCGATCGATCGATCGATTGGCTATCGATCGATCGAT
ATTCCGAGCTAGCTATATAGCTAGCTAGCTAGCTAGCGTA
TCGATCGCTGCTAGCTATATCCGATGCGCTATGCTAGCTG
GATATTAGGTCCTGATTGCTAGCTAGCTAGCTAGCTAGCT
ATCGTCGATCGATCGATCGATTGGCTATCGATCGATCGAT
ATTCCGAGCTAGCTATATAGCTAGCTAGCTAGCTAGCGTA
TCGATCGCTGCTAGCTATATCCGATGCGCTATGCTAGCTG
ACTCGTAGCTAGCTAGCTAGCTAGCTAGCTAGCTAGCGCT
```

NIET-CODEREND DNA

Bij sommige eukaryoten bestaat maar een klein deel van het DNA in een cel uit genen. Het overige DNA codeert niet voor eiwitten en wordt daarom **niet-coderend DNA** genoemd. Bij de mens bestaat ongeveer 98,5% van het genoom uit niet-coderend DNA. Ook binnen genen worden stukken coderend DNA afgewisseld met stukken DNA-sequentie die geen code bevatten. Delen van niet-coderend DNA bestaan uit **repetitief DNA**. Dat zijn herhalingen van korte nucleotidesequenties. Aanvankelijk werd gedacht dat niet-coderend DNA geen functie had. Sommige delen van het niet-coderend DNA coderen niet voor eiwitten maar voor andere moleculen. Deze moleculen hebben een regulerende functie bij de synthese van eiwitten. Soms heeft het niet-coderende DNA zelf een functie bij de eiwitsynthese. Een deel van het niet-coderend DNA bestaat uit genen die hun functie hebben verloren, bijvoorbeeld een gen voor de aanmaak van eigeel bij zoogdieren.

opdrachten

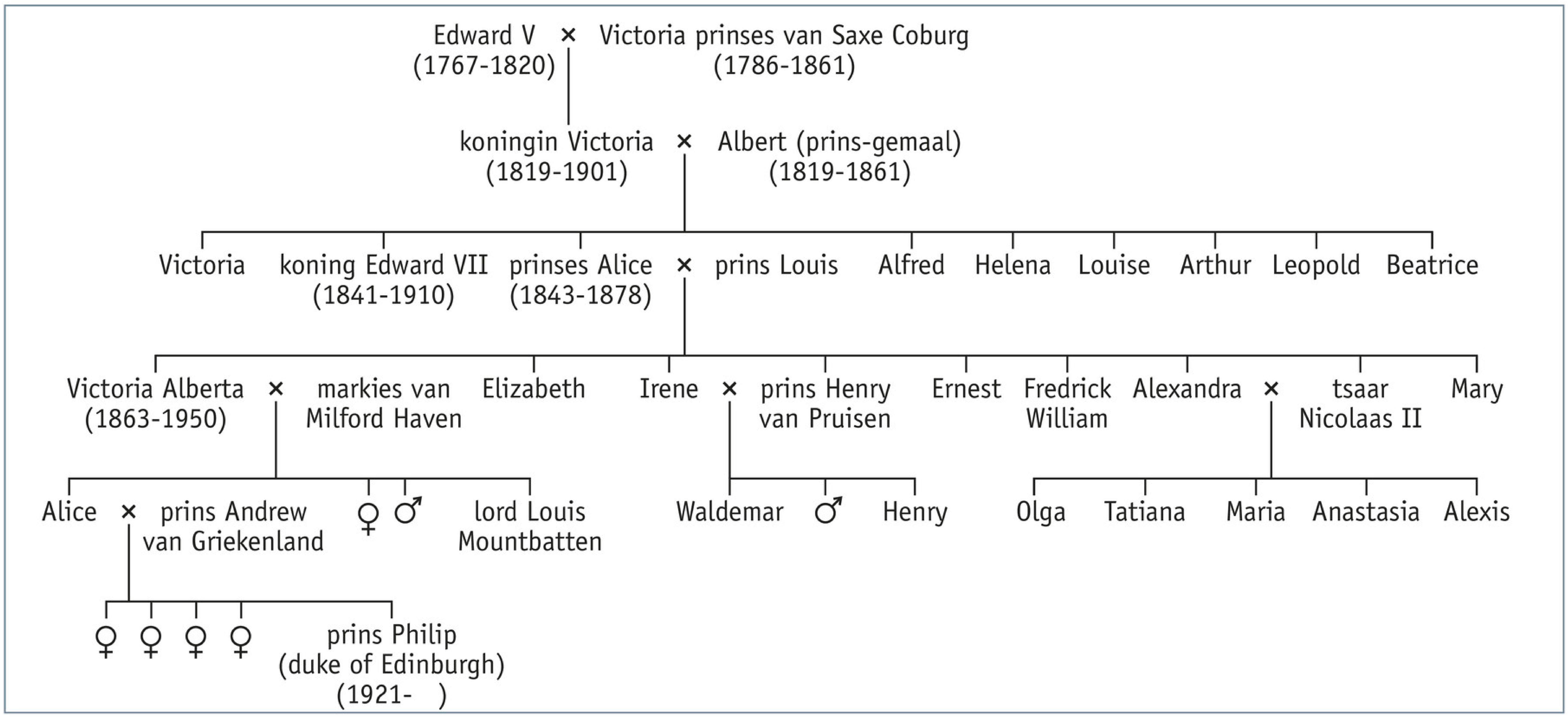
1 In welke celorganellen van een bladcel bevindt zich het genoom van een tomatenplant?

2 Elke menselijke cel bevat vele honderden mitochondriën en in elk mitochondrium bevinden zich twee tot tien kopieën van het mtDNA. Het mtDNA bevat genen waarmee mitochondriën eigen eiwitten maken en zichzelf kunnen reproduceren.

- **a** Kunnen mitochondriën met informatie van het kernDNA worden opgebouwd? Leg je antwoord uit.
- **b** Van wie is het mtDNA in de cellen van een embryo afkomstig? Leg je antwoord uit.
- **c** Mitochondriale overerving is kenmerkend voor bepaalde aandoeningen. Waardoor komen deze aandoeningen vaak tot uiting in weefsels en organen die veel energie nodig hebben?

d In afbeelding 8 is een deel van de stamboom van de familie van tsaar Nicolaas II weergegeven. In 1995 werden in Jekaterinenburg skeletten opgegraven. Om na te gaan of de opgegraven skeletten echt van het tsarengezin zijn, is DNA uit die skeletten vergeleken met DNA van prins Philip. Philip is de echtgenoot van de koningin van Engeland en verwant aan de tsarenfamilie. Het tsarengezin bestond uit Nicolaas II, tsarina Alexandra, hun zoon Alexis en hun vier dochters. Voor het vergelijken van het DNA gebruikte men geen DNA uit de kernen maar mtDNA.
Van welke leden van het tsarengezin is het mtDNA gelijk aan dat van prins Philip? Leg uit op welke manier het mtDNA is doorgegeven.

▼ **Afb. 8** Een deel van de stamboom van de familie van tsaar Nicolaas II.



3 **a** Zet de volgende begrippen in de juiste volgorde van klein naar groot: *chromosoom – DNA-molecuul – gen – genoom – nucleotide – thymine*.

b Van dubbelstrengs DNA heeft één streng de nucleotidesequentie CGGATACGGTTA.
Wat is de nucleotidesequentie van de andere streng?

c In de tabel van afbeelding 9 is het gewichtspercentage van de vier verschillende stikstofbasen in het totale DNA van enkele organismen weergegeven.
Leg uit dat het gewichtspercentage van adenine vrijwel gelijk is aan dat van thymine.

d DNA is opgebouwd uit slechts vier verschillende nucleotiden.
Hoe kunnen vier verschillende nucleotiden coderen voor veel verschillende eiwitten?

▼ **Afb. 9** Het gewichtspercentage van de vier verschillende stikstofbasen in het totale DNA van enkele organismen.

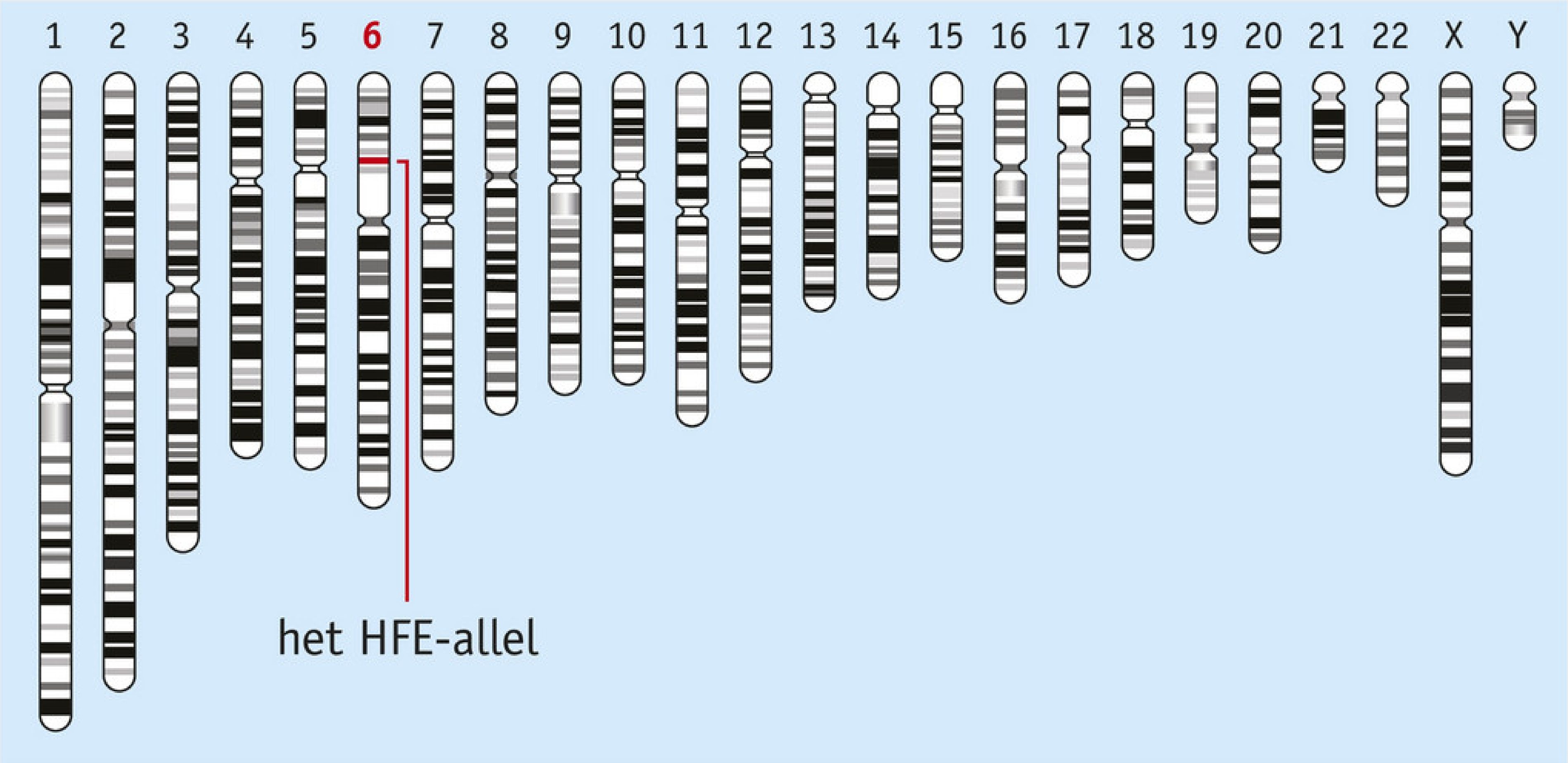
Organisme	A	T	C	G
E. coli	26,0	23,9	24,9	25,3
Gist	31,3	32,9	18,7	17,1
Haring	27,8	27,5	22,2	22,6
Mens	30,9	29,4	19,9	19,8

4 Mensen bezitten het gen voor de aanmaak van vitamine C in hun DNA, maar maken het toch niet zelf aan. De meeste andere zoogdieren doen dat wel. Leg uit waarom bij mensen het gen voor de aanmaak van vitamine C waarschijnlijk zijn functie heeft verloren.

CONTEXT Leefwereld

Hemochromatose

Bij de vader van Juultje werd op zijn vijftigste de erfelijke stofwisselingsziekte hemochromatose ontdekt. De transporteiwitten die ijzer vanuit de dunne darm naar de bloedvaten transporteren, vervoeren bij hem veel meer ijzer dan normaal. Daardoor wordt er te veel ijzer uit het voedsel in de dunne darm opgenomen. De meeste patiënten met hemochromatose hebben tot hun veertigste geen klachten. Een teveel aan ijzer wordt namelijk opgeslagen in onder andere de lever, de milt en het beenmerg. Maar doordat het lichaam overtollig ijzer niet kan afvoeren, blijft het ijzergehalte in deze organen toenemen. Deze ijzerstapeling is schadelijk voor weefsels en organen. In de lever kan dit bijvoorbeeld leiden tot leverkanker. Therapeutische aderlatingen kunnen helpen. Rode bloedcellen bevatten ijzer en door regelmatig bloed af te tappen, daalt het ijzergehalte van het bloed van de patiënt. Het lichaam maakt na een aderlating nieuwe rode bloedcellen aan en gebruikt daarbij het opgeslagen ijzer.



▶ **Afb. 10** Karyogram van de vader van Juultje.

opdracht

5 Juultje ontdekte dat de erfelijke vorm van hemochromatose wordt veroorzaakt door een recessieve mutatie in het HFE-allel op chromosoom 6 (zie afbeelding 10). Dit allel is verantwoordelijk voor de synthese van het transporteiwit voor ijzer.
De moeder van Juultje heeft geen mutatie in het HFE-allel.

- **a** Is Juultje draagster? Leg je antwoord uit.
- **b** Dragers hebben een verhoogd ijzergehalte, maar ze krijgen de aandoening meestal niet. Het recessieve allel komt dus toch enigszins tot uiting in het fenotype.
 Hoe noem je dit verschijnsel?
- **c** Juultje staat wangslijmvliescellen af voor een DNA-onderzoek.
 In welke celorganellen van deze cellen bevindt zich het genoom van Juultje?
- **d** Is de sequentie van nucleotiden in het HFE-gen bij de vader en moeder van Juultje hetzelfde? Leg je antwoord uit.
- **e** Bij mannen met hemochromatose is de kans op ijzerstapeling iets groter dan bij vrouwen met deze aandoening. Leg dit uit.

Leerdoelen
- Je kunt beschrijven hoe DNA-replicatie plaatsvindt.
- Je kunt uitleggen hoe met gegevens die zijn verkregen door DNA-analyse de graad van verwantschap van soorten kan worden vastgesteld.

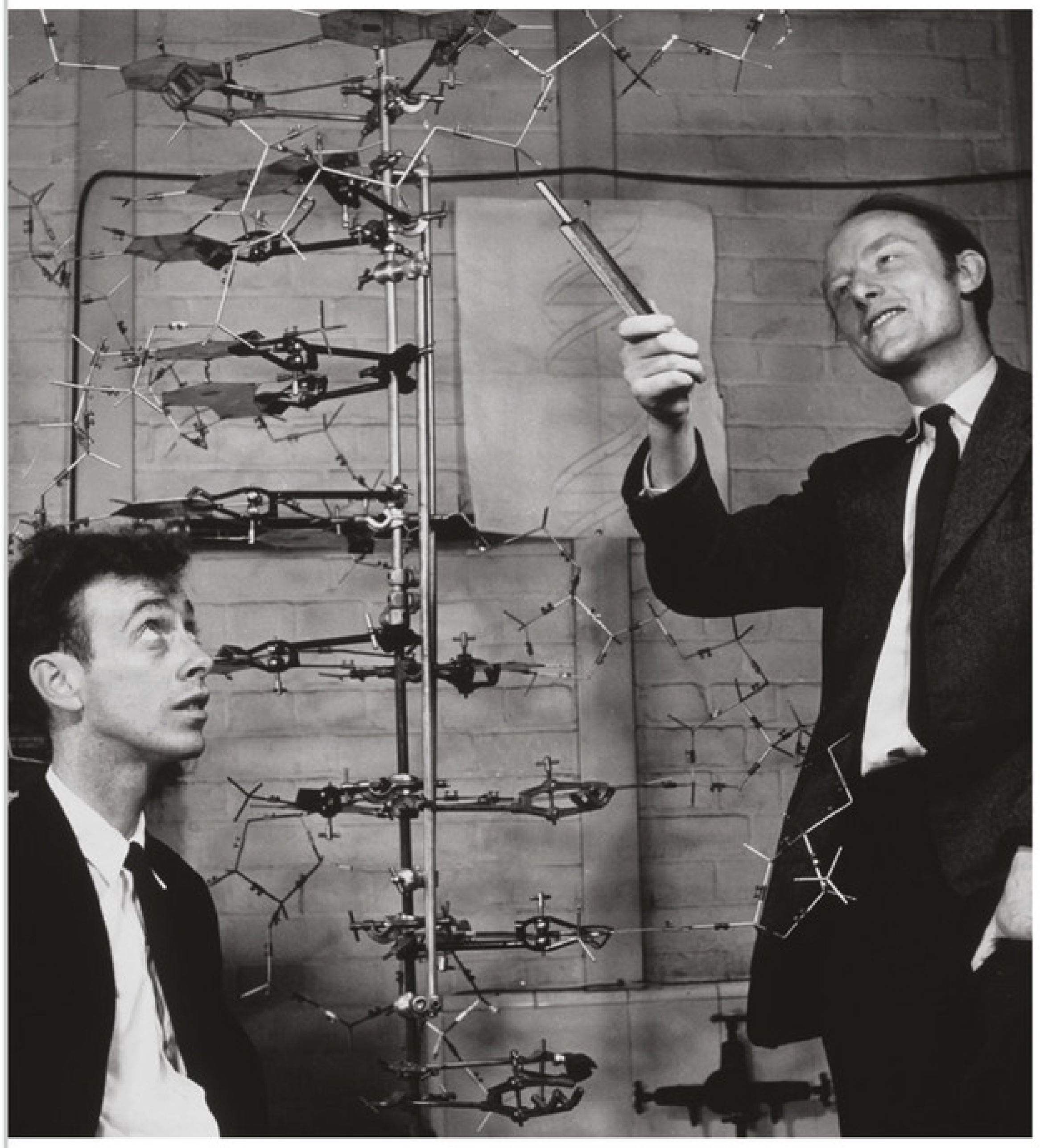
2 DNA-replicatie

Voordat een cel deelt, wordt het DNA in de kern gekopieerd. Het DNA wordt bij de deling verdeeld over de dochtercellen. Hierdoor bezitten alle cellen in je lichaam een kopie van je DNA, behalve de rode bloedcellen.

Replicatie met DNA-polymerase

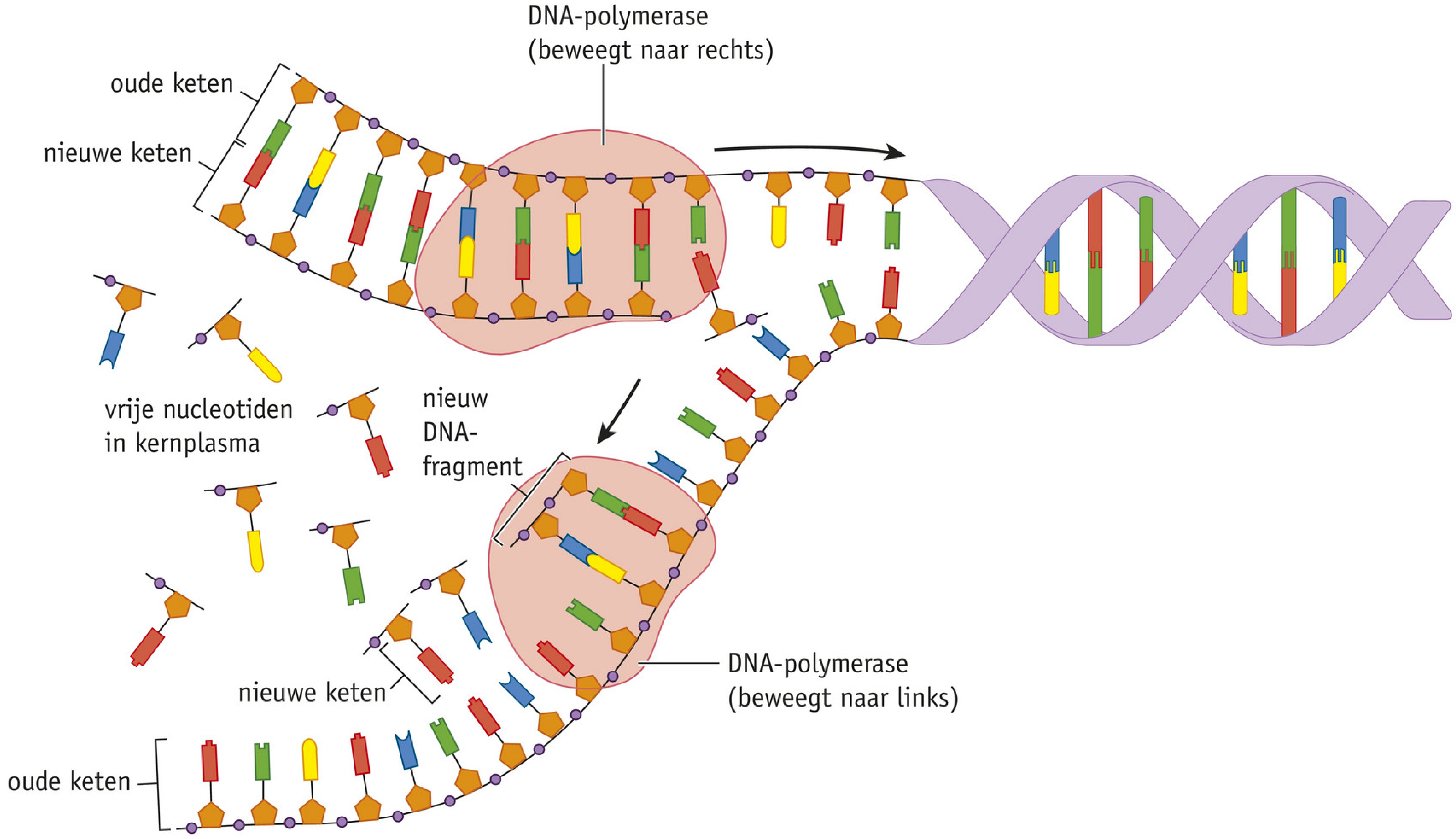
In 1953 is het Watson en Crick gelukt om de structuur van DNA te bepalen (zie afbeelding 11). Zij publiceerden hun conclusies in het wetenschappelijke tijdschrift *Nature*. Een maand later publiceerden zij een tweede artikel in dit tijdschrift waarin zij uiteenzetten hoe de sequentie van nucleotiden in dubbelstrengs DNA door basenparing gemakkelijk kan worden gekopieerd.

▼ **Afb. 11** Watson en Crick met het DNA-model.



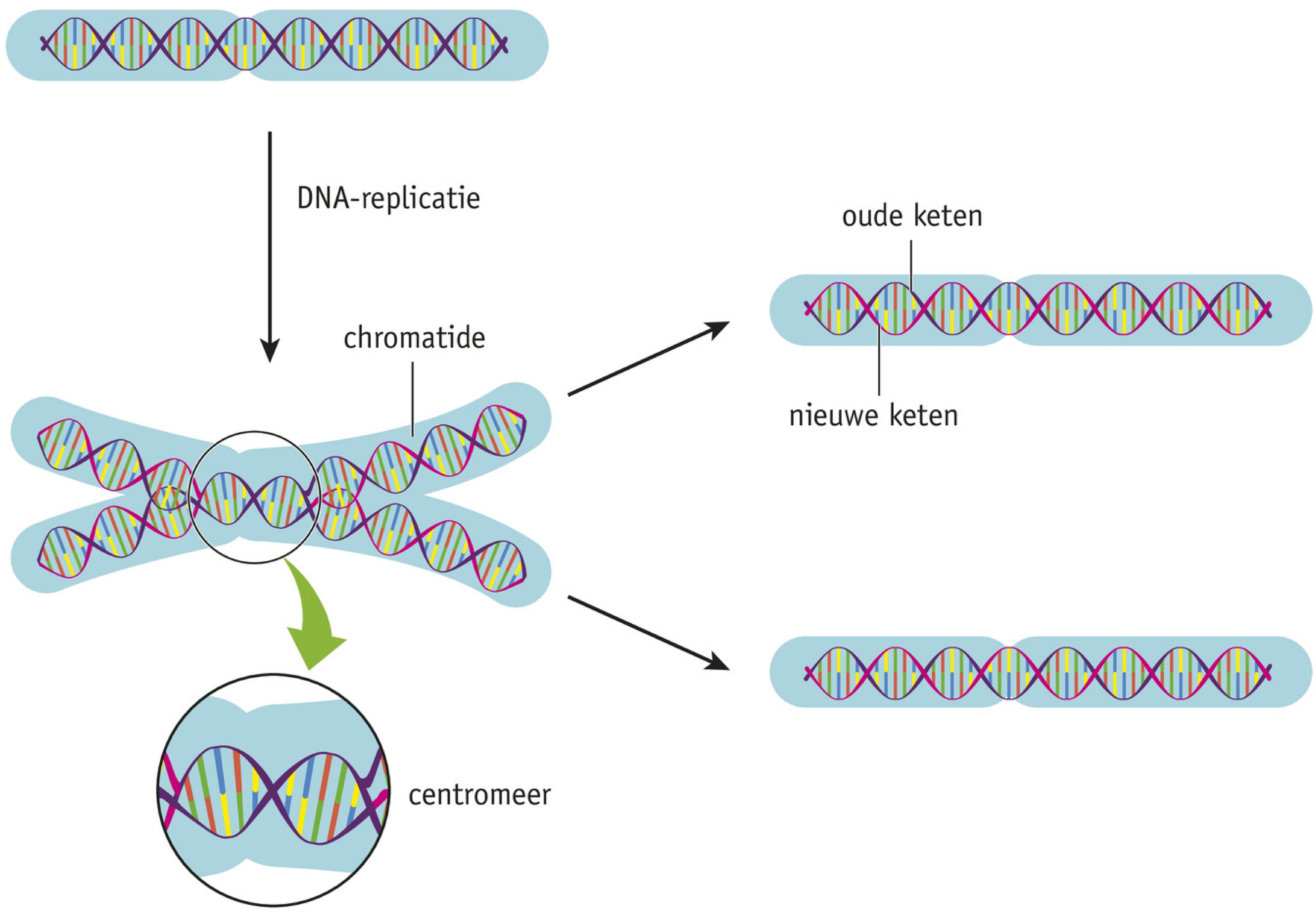
Het kopiëren (de replicatie) van het DNA vindt plaats tijdens de **S-fase** van de celcyclus. De **DNA-replicatie** begint met het verbreken van de verbindingen tussen de basenparen van een DNA-molecuul. Vervolgens verdwijnt de helixstructuur en gaan de twee strengen van het DNA-molecuul uit elkaar (zie afbeelding 12).
In het kernplasma komen **vrije DNA-nucleotiden** voor. Het enzym **DNA-polymerase** schuift langs een enkelvoudige keten en verbindt deze nucleotiden met de vrijgekomen basen in het DNA-molecuul. Steeds verbindt adenine (A) met thymine (T) en cytosine (C) met guanine (G). Door de vaste basenparing ontstaan twee identieke DNA-moleculen. Zo worden twee nieuwe nucleotideketens gevormd, aan elke oude keten één.

▼ **Afb. 12** DNA-replicatie (schematisch).



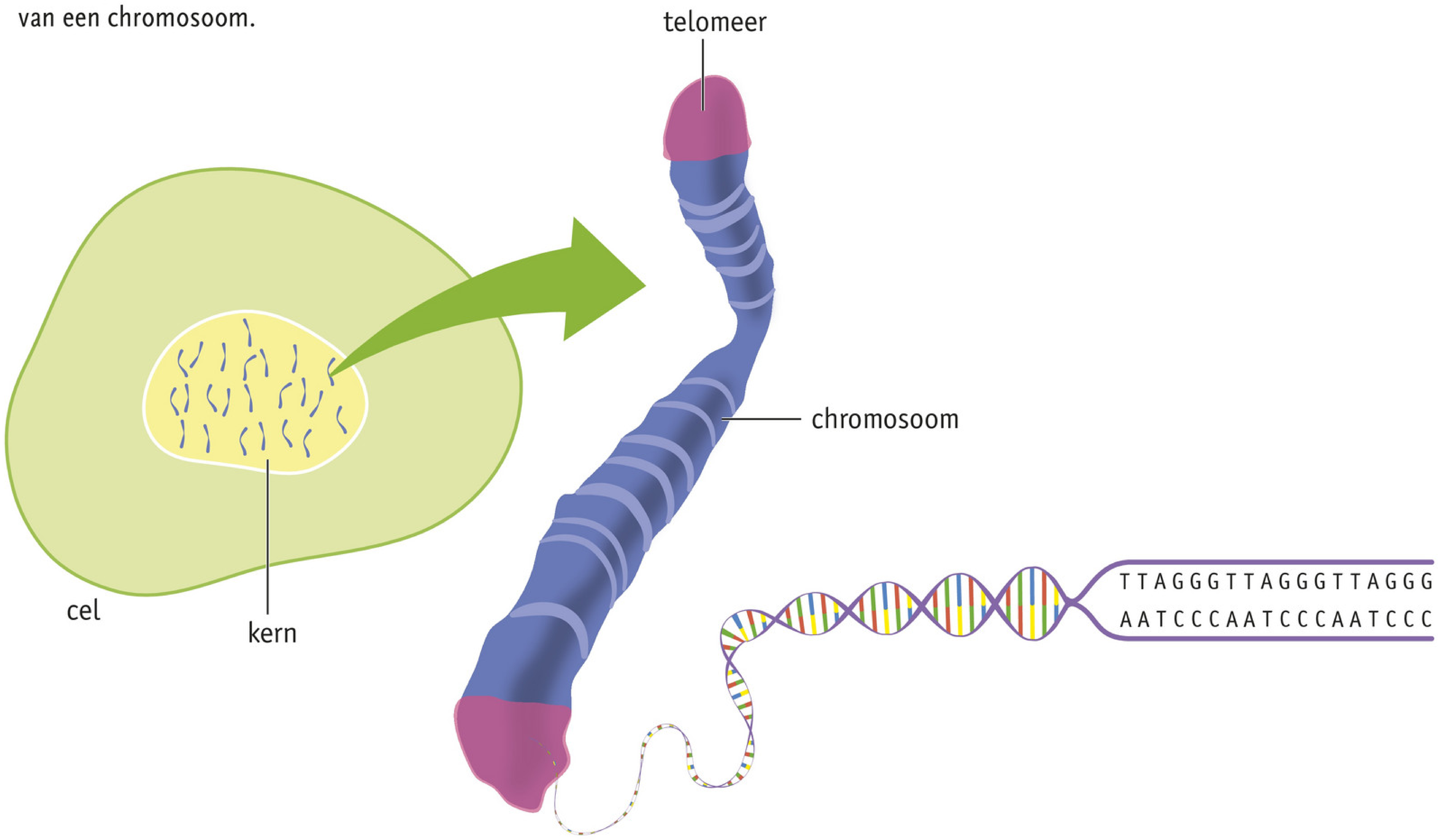
De replicatie vindt plaats langs het gehele DNA-molecuul, met uitzondering van het centromeer. Doordat op deze plek de verbindingen in het DNA nog niet worden verbroken, bestaat het chromosoom uit twee **chromatiden**. Elke chromatide bestaat na replicatie uit een oude en een nieuwe keten. Deze nemen weer de helixstructuur aan.
Bij het begin van de mitose (M-fase) worden de chromosomen zichtbaar, doordat ze spiraliseren. Ze worden dan veel korter en dikker. Tijdens het verdere verloop van de mitose worden de chromatiden uit elkaar getrokken en worden ze elk een chromosoom in een dochtercel (zie afbeelding 13). Hierdoor krijgen de dochtercellen een chromosoom dat dezelfde DNA-sequentie heeft als de moedercel waaruit ze zijn ontstaan. Elk van beide dochtercellen heeft ook hetzelfde aantal chromosomen als de moedercel.

Afb. 13 Na DNA-replicatie bestaat een DNA-molecuul in een dochtercel uit een oude en een nieuwe keten.



TELOMEREN EN VEROUDERING

Het enzym DNA-polymerase kan tijdens de replicatie het uiteinde van een enkelvoudige keten niet repliceren. Het niet-gekopieerde enkelstrengs DNA van de oude streng wordt na de replicatie door een enzym verwijderd. Hierdoor wordt het DNA-molecuul bij elke celdeling korter. Om te voorkomen dat de genen in het DNA worden beschadigd, bezitten de uiteinden van chromosomen bij eukaryoten telomeren. Een **telomeer** bestaat uit niet-coderend DNA dat is ingekapseld in beschermende eiwitten. Bij mensen bestaat een telomeer uit repetitief DNA: herhalingen van TTAGGG (zie afbeelding 14). Bij elke celdeling wordt een telomeer korter. Na ongeveer vijftig celdelingen is er nog maar een vijfde deel van het telomeer over en dan kan een cel zich niet meer delen. De cel sterft dan af (celdood).
De levensduur van de cellen van een organisme hangt af van de lengte van de telomeren en de snelheid waarmee ze korter worden. Dit is bepalend voor de snelheid waarmee een organisme veroudert. Toch gaan mensen niet dood doordat hun cellen niet meer kunnen delen. Daar worden ze niet oud genoeg voor. Ze sterven aan, bijvoorbeeld, kanker of een hartaanval.



▼ **Afb. 14** Telomeren aan de uiteinden van een chromosoom.

opdrachten

6 **a** Welk enzym komt in actie bij DNA-replicatie nadat de helixstructuur is verdwenen en de twee strengen van het DNA-molecuul uit elkaar zijn gegaan?

b Een diploïde cel geef je schematisch weer met $2n$. Hoe kun je mitose van een diploïde cel schematisch weergeven?

c Chromosomen worden vaak afgebeeld als een X. Toch hebben ze deze vorm alleen aan het begin van de mitose. Leg dat uit.

d Een onderzoeker slaagt erin vrije nucleotiden in cellen te merken met radioactieve H-atomen. Daardoor wordt gelabeld DNA gevormd tijdens de S-fase van een celcyclus.
Bevatten beide chromatiden, die tijdens deze celcyclus worden gevormd, gelabeld DNA of slechts een van beide chromatiden? Leg je antwoord uit.

7 Onderzoekers kunnen door het bekijken van telomeren van mensen een indicatie geven over hoelang zij theoretisch nog te leven hebben.

a Leg uit waarom onderzoekers voor deze test telomeren bekijken.

b Prokaryoten hebben geen telomeren. Leg dit uit.

▸▸ PRACTICUMOPDRACHT 1

SEQUENSEN

Voor **DNA-analyse** bepaal je de nucleotidesequentie van het genoom of van een deel van het DNA van een organisme. Het bepalen van de nucleotidevolgorde van DNA heet **sequensen**. Het sequensen van de drie biljoen basenparen van het eerste volledige genoom van een mens duurde vijftien jaar. Dat kan tegenwoordig in één dag. Door de nieuwste technieken is het mogelijk om grotere stukken DNA tegelijkertijd te sequensen. Daardoor zijn deze technieken geschikt voor het ontrafelen van hele genomen. De volgende stap in de DNA-analyse is een DNA-sequentie bestuderen, vergelijken en interpreteren. Dit neemt veel tijd in beslag.

De variatie in de DNA-sequenties bij organismen van één soort kan bijvoorbeeld informatie geven over de afkomst, het risico om bepaalde lichamelijke of geestelijke ziekten te ontwikkelen, de reactie op bepaalde medicijnen en het al of niet voorkomen van erfelijke ziekten bij een organisme. Door DNA-sequenties van verschillende soorten te vergelijken, kan de evolutionaire verwantschap van soorten worden bepaald. Bij forensisch onderzoek worden DNA-profielen (stukken DNA-sequenties) van sporen vergeleken met de DNA-profielen van slachtoffers of verdachten. Ook kun je met de DNA-profielen zoeken in de DNA-databank. Zo kan via DNA-onderzoek worden vastgesteld van wie het celmateriaal afkomstig is.

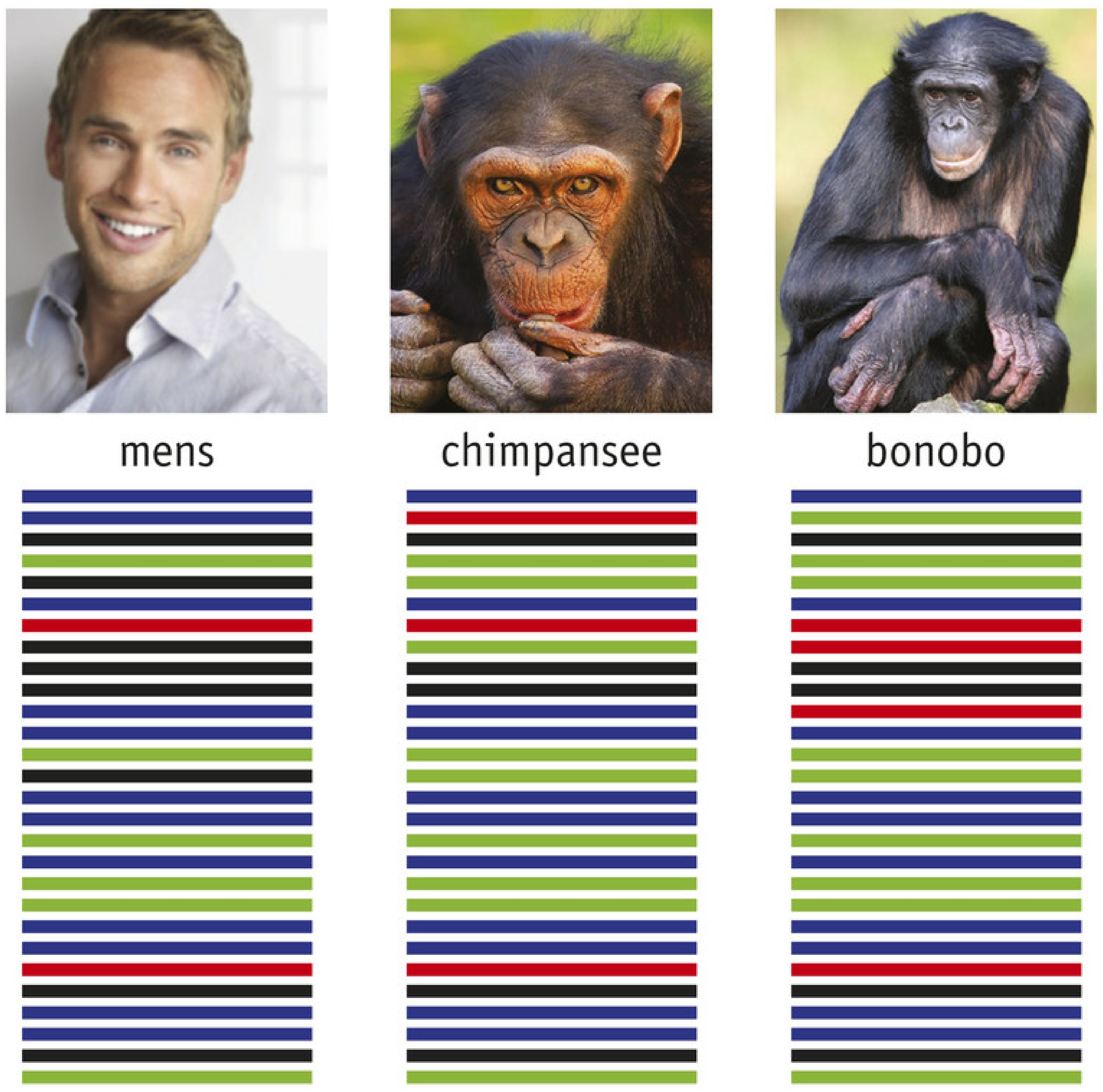
opdrachten

8 Organismen determineren is lastig wanneer je bijvoorbeeld maar een deel van een organisme vindt of wanneer een organisme er in het larvestadium heel anders uitziet dan in het volwassen stadium. Bij DNA-barcoding worden de verschillende soorten organismen gedetermineerd door de sequentie van de stikstofbasen te bepalen. Bij dieren wordt hiervoor een specifiek stukje mtDNA gebruikt dat als barcode uit 648 nucleotiden bestaat. Dit stukje DNA heet ook wel het CO1-gen.

a Voor DNA-onderzoek heb je veel DNA nodig. Het is handiger om een stukje mtDNA te gebruiken voor DNA-barcoding dan een stukje kernDNA. Leg dit uit.

b Afbeelding 15 is een weergave van de volgorde van de eerste veertig stikstofbasen in het CO1-gen van drie verschillende organismen.
De sequentie van stikstofbasen van de barcode is weergegeven met kleuren: C = blauw, A = groen, T = rood en G = zwart.
Vergelijk de volgorde van de stikstofbasen in het CO1-gen van de verschillende organismen met elkaar.
Bij welk organisme vertoont het DNA de meeste overeenkomsten met het DNA van een mens? Leg je antwoord uit.

c In 1929 werd de bonobo erkend als een soort. Daarvoor werd de bonobo vaak dwergchimpansee genoemd, omdat hij sterk lijkt op een chimpansee maar wat kleiner is.
Kun je dat verklaren met de verschillen in de DNA-barcodes?



▶ **Afb. 15** De volgorde van de eerste veertig stikstofbasen in het CO1-gen van drie verschillende organismen.

9 Wanneer je besluit om je hele genoom te laten sequensen, levert dit persoonlijke informatie op. Het is verstandig vooraf goed te overwegen of je deze informatie wilt weten.

a Bedenk drie redenen die mensen kunnen hebben om de informatie die het sequensen oplevert, niet te willen weten.

b De vader van Stijn is tandarts, maar kan door een erfelijke spierziekte zijn werk steeds minder goed doen. Uiteindelijk zal hij niet meer kunnen werken en in een rolstoel terechtkomen. Stijn is 17 jaar en heeft 50% kans dat hij de spierziekte in de toekomst ook ontwikkelt. Om dat zeker te weten kan hij DNA-onderzoek laten doen. Maar Stijn is bang dat het zijn leven negatief beïnvloedt als blijkt dat hij de spierziekte ook krijgt en heeft daarom besloten dat hij het nu nog niet wil weten.
Zou jij het willen weten? Leg je antwoord uit.

CONTEXT Leefwereld

DNA-spray

▼ **Afb. 16** Persoon die is bespoten met DNA-spray.



Om inbraken, overvallen en ramkraken te voorkomen of op te lossen, kan een spray worden gebruikt met stukjes DNA die in een laboratorium zijn gemaakt. Kostbare voorwerpen worden ermee gemarkeerd. De DNA-spray is onzichtbaar en zeer moeilijk te verwijderen. Wanneer gemarkeerde voorwerpen worden gestolen, kan de politie na forensisch onderzoek gemakkelijk ontdekken wie de rechtmatige eigenaar van het voorwerp is. Met een DNA-douche kunnen ook overvallers en inbrekers worden gemarkeerd. Wanneer zij tijdens een overval of inbraak worden besproeid met DNA-spray, is later vast te stellen dat zij op het moment van het misdrijf in het pand waren. Om de markering zichtbaar te maken is in de vloeistof een bestanddeel opgenomen dat helderblauw oplicht wanneer het materiaal met uv-licht wordt beschenen (zie afbeelding 16). De DNA-spray die is gebruikt, wordt door de politie ingenomen na een incident. In een database is te vinden wie de rechtmatige eigenaar is van een gemarkeerd product of in welk pand de DNA-spray is gebruikt.

opdracht

10 Wanneer gemarkeerde voorwerpen worden gestolen, kan de politie na forensisch onderzoek gemakkelijk ontdekken wie de rechtmatige eigenaar van het voorwerp is.

a Hoe kan de politie bij het forensisch onderzoek de stukjes DNA uit de spray gebruiken om de rechtmatige eigenaar van een voorwerp te achterhalen?

b Is de sequentie van de stukjes DNA in DNA-spray in alle spuitbussen hetzelfde? Leg je antwoord uit.

Leerdoel
– Je kunt beschrijven hoe eiwitsynthese plaatsvindt.

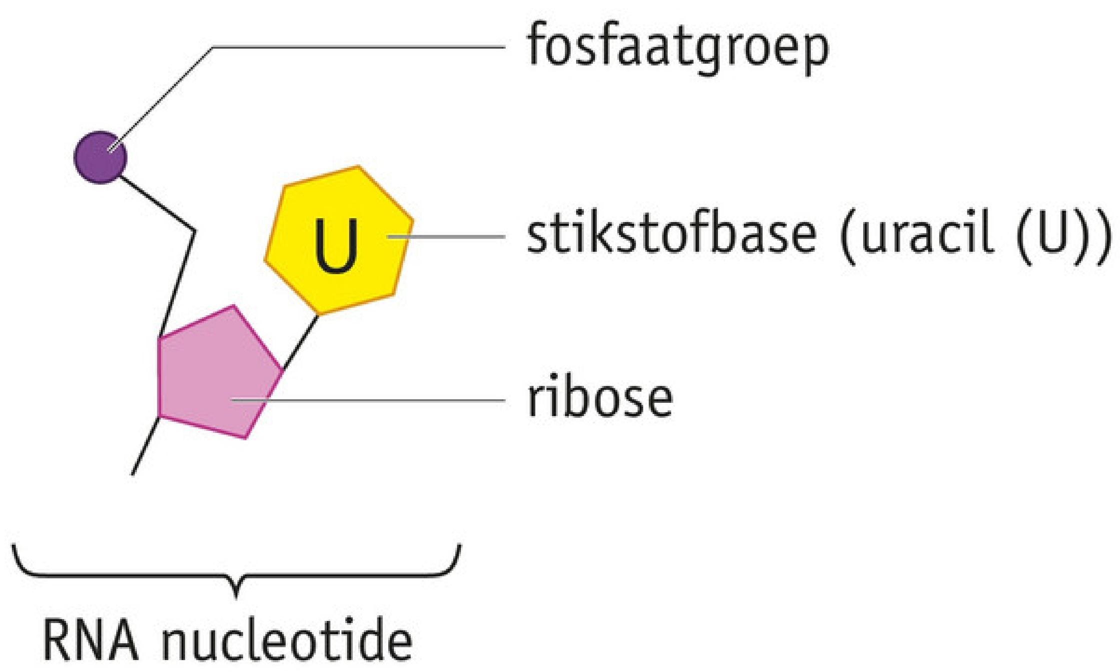
3 Eiwitsynthese

Bij eiwitsynthese wordt een kopie gemaakt van de nucleotidevolgorde van een gen in het DNA. De nucleotidevolgorde van de kopie is het ‘recept’ waarmee een ribosoom een eiwit kan maken.

De bouw en functie van RNA

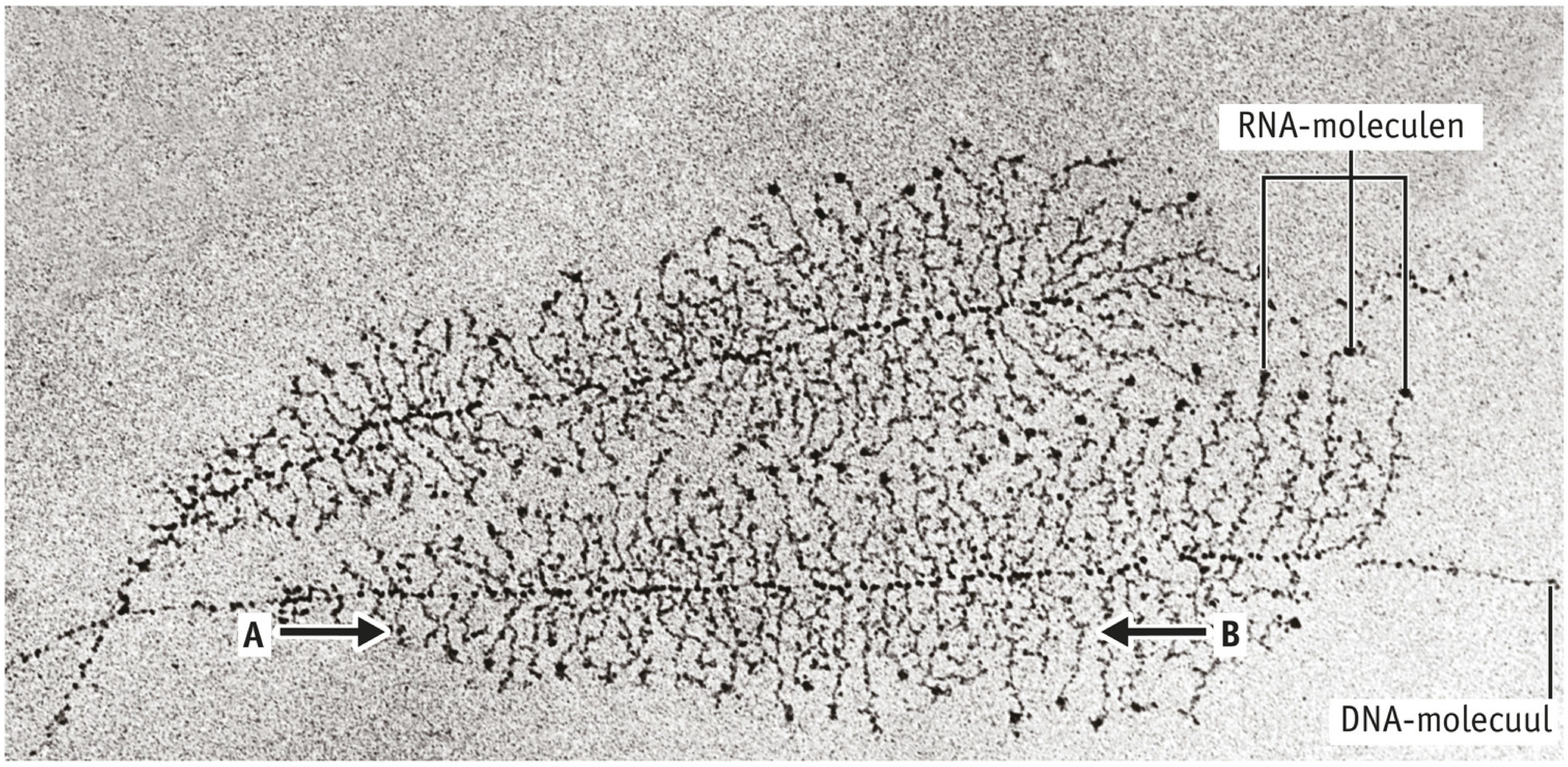
Door DNA-replicatie heeft elke cel in een organisme exact hetzelfde DNA. Met de informatie in de genen van het DNA kunnen ribosomen in het cytoplasma van de cel eiwitten synthetiseren. Hiervoor wordt eerst de DNA-sequentie van een gen ‘overgeschreven’ in een RNA-molecuul. **RNA** (ribonucleïnezuur) bestaat net als DNA uit nucleotiden. RNA bestaat echter uit slechts één keten van nucleotiden. Deze nucleotiden bevatten **ribose** in plaats van desoxyribose. Verder bevatten ze, net als DNA-nucleotiden, een fosfaatgroep en de stikstofbasen adenine, guanine en cytosine. In plaats van thymine bevat een RNA-nucleotide de stikstofbase **uracil** (U) (zie afbeelding 17).

▼ **Afb. 17** Een RNA-nucleotide.



RNA wordt in de celkern gevormd langs delen van een DNA-molecuul. De vorming van RNA heet **transcriptie**. Op plaatsen waar genen aan staan en dus tot expressie komen, worden de bindingen tussen de basenparen verbroken. Langs een van beide ketens wordt een RNA-molecuul gevormd. Dit kan op verschillende plaatsen in een DNA-molecuul tegelijkertijd gebeuren (zie afbeelding 18).
Transcriptie is te vergelijken met DNA-replicatie. Bij DNA-replicatie worden langs beide ketens over de hele lengte nieuwe nucleotideketens gevormd. Nu wordt er één korte keten van RNA-nucleotiden gevormd langs de DNA-sequentie van een gen. Wanneer het RNA-molecuul klaar is, laat het los van het DNA. Het bevat een afschrift van de sequentie in het deel van het DNA-molecuul waarlangs het is gevormd.
De sequentie van het RNA-molecuul is de code voor de synthese van een eiwit. Via de kernporiën verlaat het RNA-molecuul de celkern om de informatie over te brengen naar een ribosoom in het cytoplasma of op het endoplasmatisch reticulum. Een ribosoom leest de nucleotidevolgorde van het RNA af en synthetiseert hiermee een eiwit.

▼ **Afb. 18** Gelijktijdige vorming van verschillende RNA-moleculen (TEM, 63 000×).



opdracht

11 **a** Hoe verschillen DNA en RNA van elkaar? Noteer drie verschillen.
b Langs een van de nucleotideketens van een DNA-molecuul wordt een RNA-molecuul gevormd. Deze keten heeft de nucleotidesequentie CGGATACGGTTA.
Wat is de sequentie van nucleotiden in het RNA-molecuul dat hierlangs wordt gesynthetiseerd?
c In afbeelding 18 worden gelijktijdig meerdere RNA-moleculen gevormd. In welke richting wordt het DNA afgelezen: in de richting van A of in de richting van B? Leg je antwoord uit.
d Het aantal fouten dat wordt gemaakt bij de synthese van RNA is hoger dan bij de synthese van DNA. Toch hebben fouten bij de RNA-synthese minder blijvende gevolgen voor een organisme of voor het nageslacht dan fouten bij de DNA-synthese. Leg dit uit.

DE GENETISCHE CODE

De eiwitten in je lichaam kunnen worden opgebouwd uit twintig verschillende aminozuren. Het aantal en de volgorde van de aminozuren verschillen van eiwit tot eiwit, waardoor ook de eigenschappen van de eiwitten verschillen. De code voor de volgorde van de aminozuren in eiwitten is vastgelegd in de nucleotidesequentie van het RNA. Voor de code van één aminozuur zijn drie opeenvolgende nucleotiden nodig. Dit noem je een **codon**. In afbeelding 19 is in een tabel de **genetische code** gegeven. De genetische code is de vertaling van de nucleotidevolgorde in RNA naar aminozuren. In de tabel is af te lezen welk codon correspondeert met welk aminozuur.

▶ **Afb. 19** De genetische code.

2e base in codon

1e base in codon	U	C	A	G	3e base in codon
U	Phe	Ser	Tyr	Cys	U
	Phe	Ser	Tyr	Cys	C
	Leu	Ser	STOP	STOP	A
	Leu	Ser	STOP	Trp	G
C	Leu	Pro	His	Arg	U
	Leu	Pro	His	Arg	C
	Leu	Pro	Gln	Arg	A
	Leu	Pro	Gln	Arg	G
A	Ile	Thr	Asn	Ser	U
	Ile	Thr	Asn	Ser	C
	Ile	Thr	Lys	Arg	A
	Met	Thr	Lys	Arg	G
G	Val	Ala	Asp	Gly	U
	Val	Ala	Asp	Gly	C
	Val	Ala	Glu	Gly	A
	Val	Ala	Glu	Gly	G

In *Binas* vind je de namen en structuurformules van de aminozuren.

Als de stikstofbasenvolgorde van de nucleotiden in een codon UUU is, zoek je in de genetische code de eerste base in het codon op, dan de tweede base en vervolgens de derde base. Je leest dan af dat UUU de code is voor het aminozuur fenylalanine (Phe). De synthese van een aminozuurketen start altijd bij het codon AUG. Dit is het **startcodon** en is de code voor het aminozuur methionine. Elke aminozuurketen begint dan ook met methionine. Bij de meeste eiwitten wordt dit aminozuur later weer van de keten afgesplitst. Drie codons bevatten geen code voor een aminozuur. Dit zijn de **stopcodons**. Doordat geen aminozuur kan worden ingebouwd, stopt de eiwitsynthese.

TRANSLATIE

Een cel heeft in zijn cytoplasma altijd een voorraad van de twintig verschillende aminozuren voor de eiwitsynthese. Door aminozuren op te nemen uit de omgeving of door aminozuren zelf te maken, wordt deze voorraad op peil gehouden. De aminozuren worden door een ribosoom aan elkaar gekoppeld tot eiwitten in een volgorde die wordt bepaald door een RNA-molecuul. Dit noem je **translatie**. De translatie begint wanneer een ribosoom bindt aan het startcodon van een RNA-molecuul. Het ribosoom schuift daarna verder langs het RNA-molecuul, codon na codon. Het ribosoom leest daarbij de nucleotidevolgorde van elk codon af en voegt steeds het juiste aminozuur toe aan de aminozuurketen. De eiwitsynthese stopt wanneer een ribosoom een stopcodon bereikt. De aminozuurketen laat dan los van het ribosoom. Als een ribosoom een stuk voorbij het startcodon is, kan er een ander ribosoom binden aan het startcodon. Zo kunnen er meerdere ribosomen tegelijkertijd zijn gebonden aan één RNA-molecuul. De cel kan dan veel meer eiwitten maken in een bepaalde tijd.

opdrachten

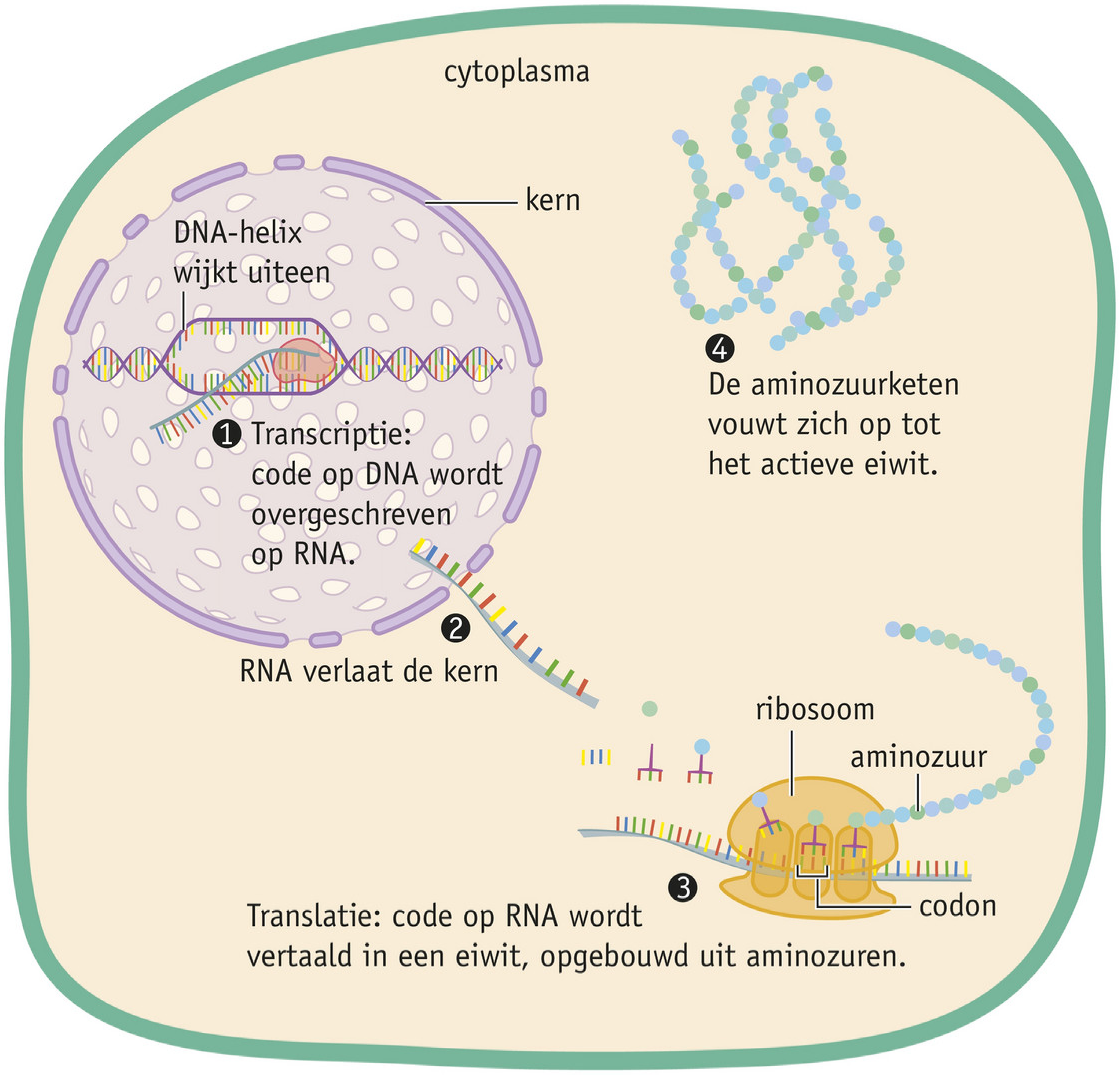
12 **a** Voor welk aminozuur bevat het codon ACG de code?
b Welke codons bevatten de code voor het aminozuur Thr?
c Welke drie stopcodons kan een RNA-molecuul bevatten?
d Zijn codons die bestaan uit twee nucleotiden geschikt als genetische code voor de synthese van eiwitten? Leg je antwoord uit.

13 De nucleotidevolgorde in een RNA-molecuul is als volgt:
G-U-C-G-G-A-U-G-C-C-G-C-G-A-A-A-U-U-G-G-G-U-G-C-C-U-A-C-C-U-A-A-G-U-U
a Neem de reeks stikstofbasen over en geef de plaats van het startcodon aan.
b Geef in de reeks ook de plaats van het stopcodon aan.
c Geef weer welke aminozuren er volgens de code van het RNA-molecuul door ribosomen aan elkaar worden gekoppeld. Gebruik daarbij de genetische code (*Binas* of afbeelding 19).

14 Wanneer bij prokaryoten RNA wordt gevormd langs het DNA, kunnen ribosomen de nucleotidesequentie van het RNA direct vertalen in een eiwit.
a Leg uit waarom dit bij eukaryoten niet kan.
b Cytoplasma bevat enzymen die RNA afbreken.
Leg uit dat deze enzymen noodzakelijk zijn voor het goed functioneren van de cel.
c Welke voordelen heeft het dat de informatie van het DNA niet direct wordt afgelezen door ribosomen, maar eerst wordt omgezet in RNA-moleculen die worden afgelezen door ribosomen? Noteer twee voordelen.

EIWITTEN

Nieuwe eiwitten die in een cel zijn gevormd door ribosomen die vrij in het cytoplasma liggen, komen in het cytoplasma terecht (zie afbeelding 20).

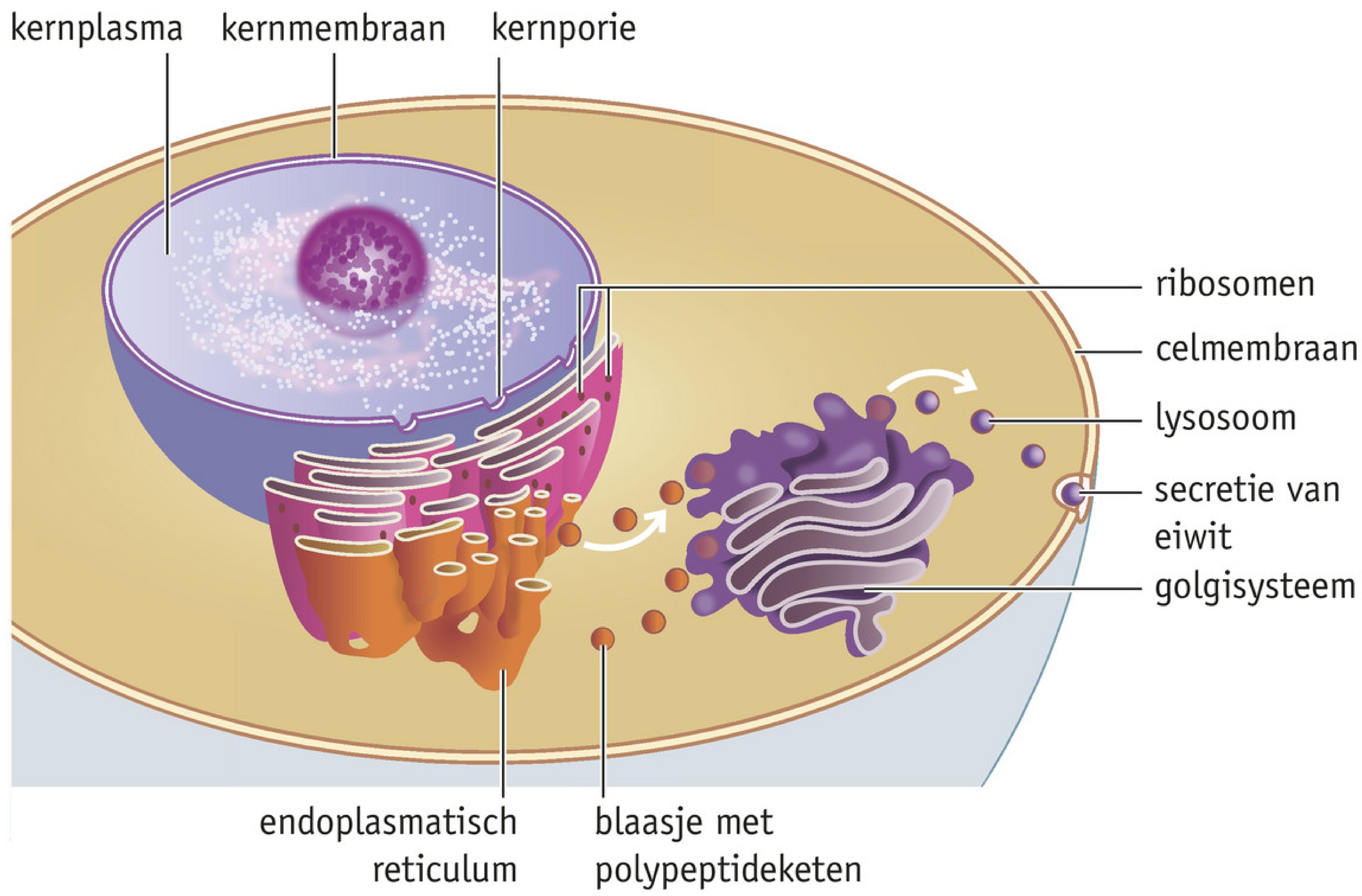


Afb. 20 Een schematisch overzicht van de eiwitsynthese.

De eiwitten die zijn gevormd door ribosomen op het endoplasmatisch reticulum, komen in de ruimte tussen de dubbele membranen van het endoplasmatisch reticulum terecht. De functie van eiwitten wordt bepaald door de aminozuurvolgorde en de ruimtelijke structuur. Na de eiwitsynthese hebben eiwitmoleculen nog niet hun uiteindelijke vorm. Ze worden in blaasjes van het endoplasmatisch reticulum naar het golgisysteem vervoerd. Door vouwing ontstaat dan de driedimensionale structuur. Een groot deel van de eiwitten gaat vervolgens naar het golgisysteem. Ook van het golgisysteem snoeren zich blaasjes af. Sommige blaasjes versmelten met het celmembraan en geven de eiwitten buiten de cel af (secretie). Andere blaasjes blijven in de cel (zie afbeelding 21).

Veel eiwitten worden nog verder bewerkt in het golgisysteem en krijgen daar hun uiteindelijke vorm. Sommige eiwitmoleculen worden pas functioneel als ze buiten de cel zijn afgescheiden. Wanneer een eiwit niet de juiste vorm heeft, kan het zijn functie niet uitvoeren en wordt het meestal afgebroken door bepaalde enzymen. Eiwitten met een verkeerde vorm kunnen niet worden afgebroken en klonteren samen. Soms functioneren ze wel, maar voeren ze hun taak niet goed uit. Ziekten als diabetes, taaislijmziekte of de ziekte van Alzheimer worden veroorzaakt door verkeerd gevouwen eiwitten.

▶ **Afb. 21** Van eiwitsynthese tot secretie.

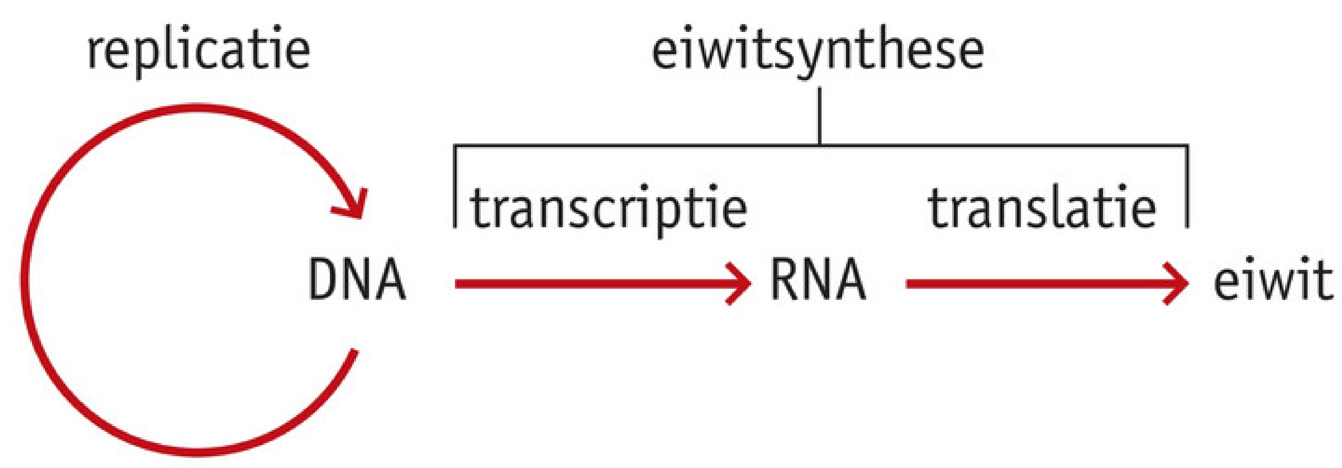


opdracht

15 Geef van de volgende processen aan of ze plaatsvinden tijdens de DNA-replicatie, tijdens de transcriptie of tijdens de translatie. Je kunt hierbij afbeelding 22 gebruiken.

1 DNA-polymerase koppelt DNA-nucleotiden aan een oude keten.
2 Langs DNA wordt RNA gevormd.
3 Het proces stopt bij een stopcodon.
4 Het proces stopt wanneer het hele genoom in een cel is gekopieerd.
5 Ribosomen vertalen RNA in een aminozuurketen.
6 Er worden twee nieuwe DNA-ketens gevormd.

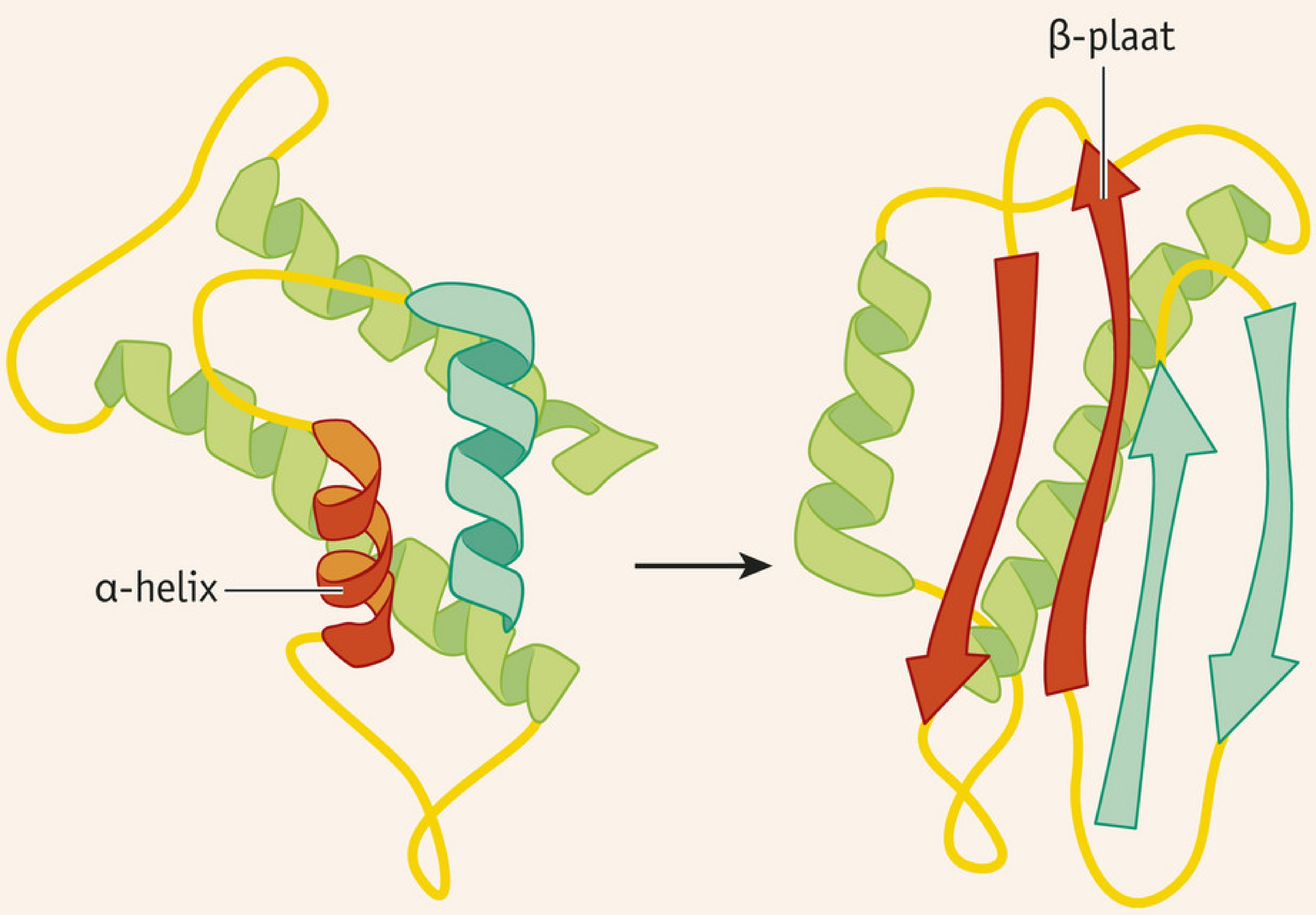
▶ **Afb. 22** Overzicht van DNA-replicatie en eiwitsynthese.



CONTEXT Leefwereld

Prionen

De gekkekoeienziekte of BSE (boviene spongiforme encefalopathie) werd in 1985 voor het eerst in Groot-Brittannië vastgesteld. Op televisie zag je beelden van koeien die zich vreemd bewogen en omvielen. Toen bekend werd dat bij mensen de ziekte van Creutzfeldt-Jakob (CJD) kan worden veroorzaakt door het eten van met BSE besmet rundvlees, durfden veel mensen geen vlees meer te eten.
Tot 1982 werd gedacht dat ziekteverwekkende micro-organismen altijd de oorzaak waren van infectieziekten. Micro-organismen bevatten allemaal DNA of RNA met de genetische code voor de voortplanting van het micro-organisme. Toen werd ontdekt dat abnormaal gevouwen eiwitten (prionen) dodelijke ziekten kunnen veroorzaken, zoals BSE bij runderen en CJD bij mensen.
Prionen ontstaan uit prionproteïnen (PrP-eiwitten). PrP-eiwitten spelen een grote rol bij de aanmaak van zenuwcellen in de hersenen. Prionen tasten het centrale zenuwstelsel van dieren en mensen aan waarbij holle ruimten in de hersenen ontstaan door het afsterven van zenuwcellen. Prionen zijn in staat om normaal gevouwen PrP-eiwitten ertoe aan te zetten om ook verkeerd te vouwen en zijn overdraagbaar tussen diersoorten die soortgelijke PrP-eiwitten hebben.



Afb. 23 Structuur van een PrP-eiwit en van een prion (schematisch).

opdracht

16 PrP-eiwitten hebben een andere ruimtelijke structuur dan prionen.

a Hoe verandert de ruimtelijke structuur van het PrP-eiwit bij de verandering in een prion?

b Het eten van rundvlees dat is besmet met prionen die BSE veroorzaken, kan CJD bij mensen veroorzaken. Leg uit hoe dit kan.

c Besmetting met prionen is moeilijk te voorkomen doordat ze bestand zijn tegen ontsmetten, bestralen, bevriezen, drogen en verhitten (pasteurisatie en sterilisatie) en ook tegen eiwitsplitsende enzymen. Toch is het aantal patiënten waarbij de diagnose CJD is gesteld, tot op heden beperkt gebleven. Hoe kun je dit verklaren?

d Mensen met de hersenziekte fatale familiaire insomnia (FFI) hebben last van een steeds toenemende slapeloosheid. FFI kan door overerving worden doorgegeven. Een nakomeling van een patiënt met FFI heeft 50% kans om de ziekte ook te krijgen.
Op welke manier ontstaan prionen bij FFI? Leg je antwoord uit.

Leerdoelen

- Je kunt verschillende manieren van genregulatie beschrijven bij prokaryoten.
- Je kunt verschillende manieren van genregulatie beschrijven bij eukaryoten.
- Je kunt beschrijven wat het belang is van genexpressie voor zelfregulatie en zelforganisatie van een organisme.

4 Genexpressie

Alle cellen van een organisme hebben hetzelfde DNA in de celkern. Toch is de bouw en functie van bijvoorbeeld zenuwcellen, kraakbeencellen en spiercellen heel verschillend. Hoe is dat mogelijk?

GENREGULATIE EN GENEXPRESSIE

Elke cel van ons lichaam bevat hetzelfde DNA met de genen voor alle eiwitten die in je lichaam kunnen worden aangemaakt. Toch produceert geen enkele cel al deze eiwitten. Een cel maakt slechts een aantal eiwitten aan. De genen in een cel kunnen worden aan- en uitgezet. Zo produceren spiercellen bijvoorbeeld geen insuline, maar cellen in de alvleesklier wel. Het aan- en uitzetten van een gen noem je **genregulatie**. Wanneer een gen aan staat, wordt de informatie van het DNA door transcriptie overgeschreven naar een RNA-molecuul waarvan de code door translatie kan worden omgezet in een eiwit. Dit noem je **genexpressie**. Het reguleren van de genexpressie maakt het voor cellen mogelijk om verschillende eiwitten te produceren op het moment dat de cel ze nodig heeft.
Zowel prokaryoten als eukaryoten passen hun genexpressie aan wanneer milieufactoren veranderen. Bij meercellige eukaryoten met hetzelfde genoom in alle cellen hangt de genexpressie in een cel niet alleen af van de milieufactoren, maar ook van de celfunctie. Tijdens de ontwikkeling van een meercellige eukaryoot van een zygote (bevruchte eicel) tot een volwassen organisme, moeten de juiste genen op het juiste moment en de juiste plaats tot expressie komen. Zowel bij prokaryoten als eukaryoten wordt dat geregeld door **regulatorgenen**. In prokaryoten coderen ze voor een repressor. In eukaryoten coderen zij voor eiwitten die de genexpressie kunnen activeren of remmen.

opdracht

17 Uit het onderzoek van afbeelding 24 blijkt dat het milieu invloed heeft op de genexpressie bij *E. coli*.
- **a** Wat was de onderzoeksvraag bij dit onderzoek?
- **b** De resultaten worden uitgewerkt in een diagram met op de y-as de concentratie β-galactosidase en op de x-as de tijd.
 Maak dit diagram en geef met een pijl aan wanneer lactose is toegevoegd.

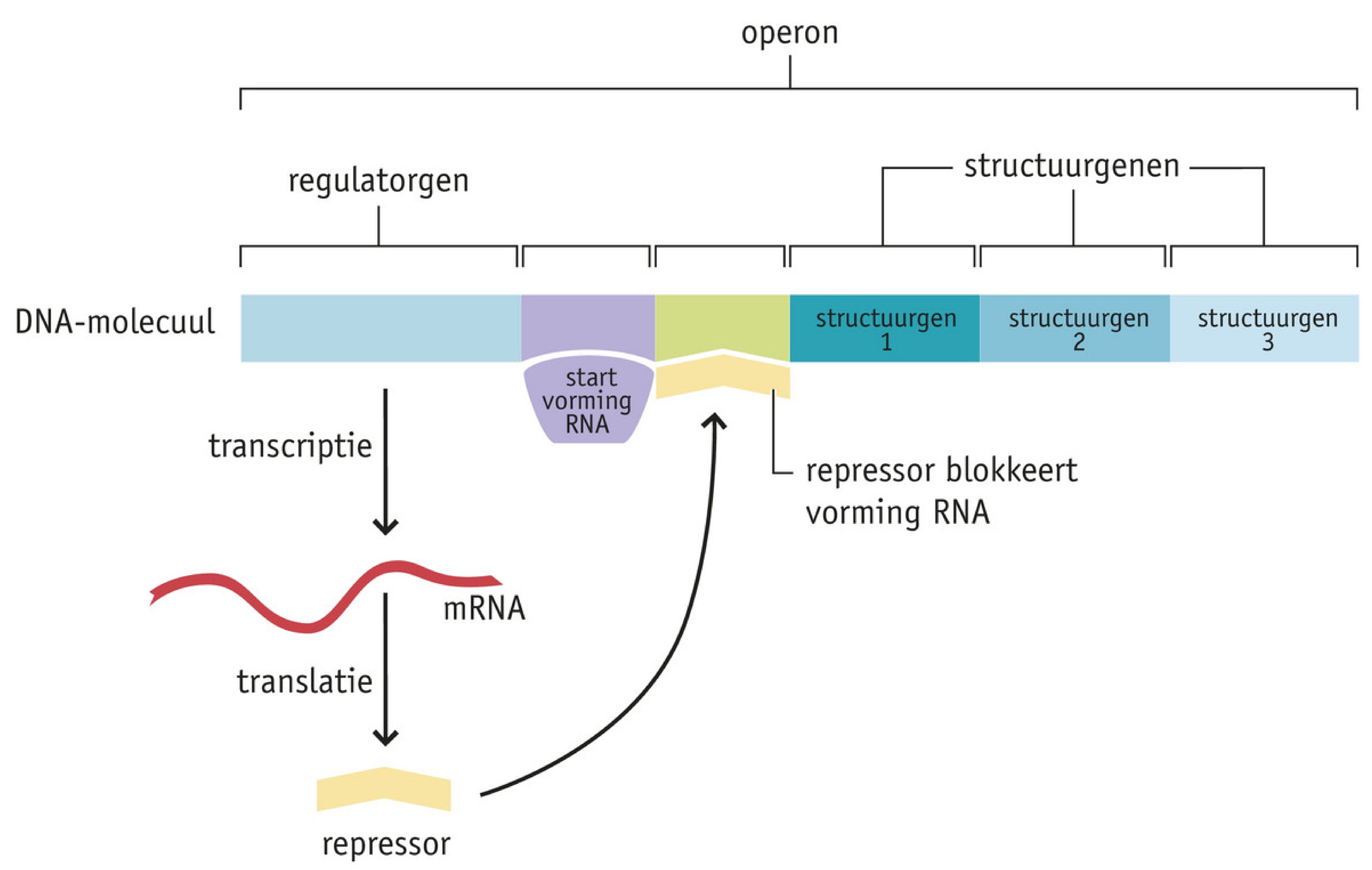
▼ Afb. 24

ONDERZOEK	GENEXPRESSIE BIJ *E. COLI*
Inleiding	*Escherichia coli (E. coli)* is een bacterie die in de dikke darm leeft van suikers zoals glucose en lactose. Voor de vertering en opname van lactose maakt *E. coli* onder andere het enzym β-galactosidase, dat lactose splitst in glucose en galactose. De hoeveelheid lactose in de darmen is afhankelijk van de voedselinname en verandert continu. Wanneer je een glas melk drinkt, bevat de darminhoud veel lactose. Er is bij *E. coli* onderzoek gedaan naar de manier waarop de synthese van enzymen voor de vertering van lactose wordt gereguleerd. Als *E. coli* groeit op een medium met glucose, produceren de bacteriën slechts zeer kleine hoeveelheden van deze enzymen.
Onderzoeksvraag	
Hypothese	Bij toename van de concentratie lactose stijgt de genexpressie van het β-galactosidasegen bij *E. coli*.
Experiment	Van een voedingsbodem met *E. coli* maar zonder lactose wordt de concentratie β-galactosidase bepaald. Vervolgens wordt aan de voedingsbodem lactose toegevoegd. Daarna wordt op verschillende momenten de concentratie β-galactosidase gemeten. De gegevens worden uitgezet in een diagram.
Resultaat	
Conclusie	Na toevoeging van lactose aan een medium met *E. coli* is de genexpressie van het β-galactosidasegen toegenomen. De hypothese is aangenomen.

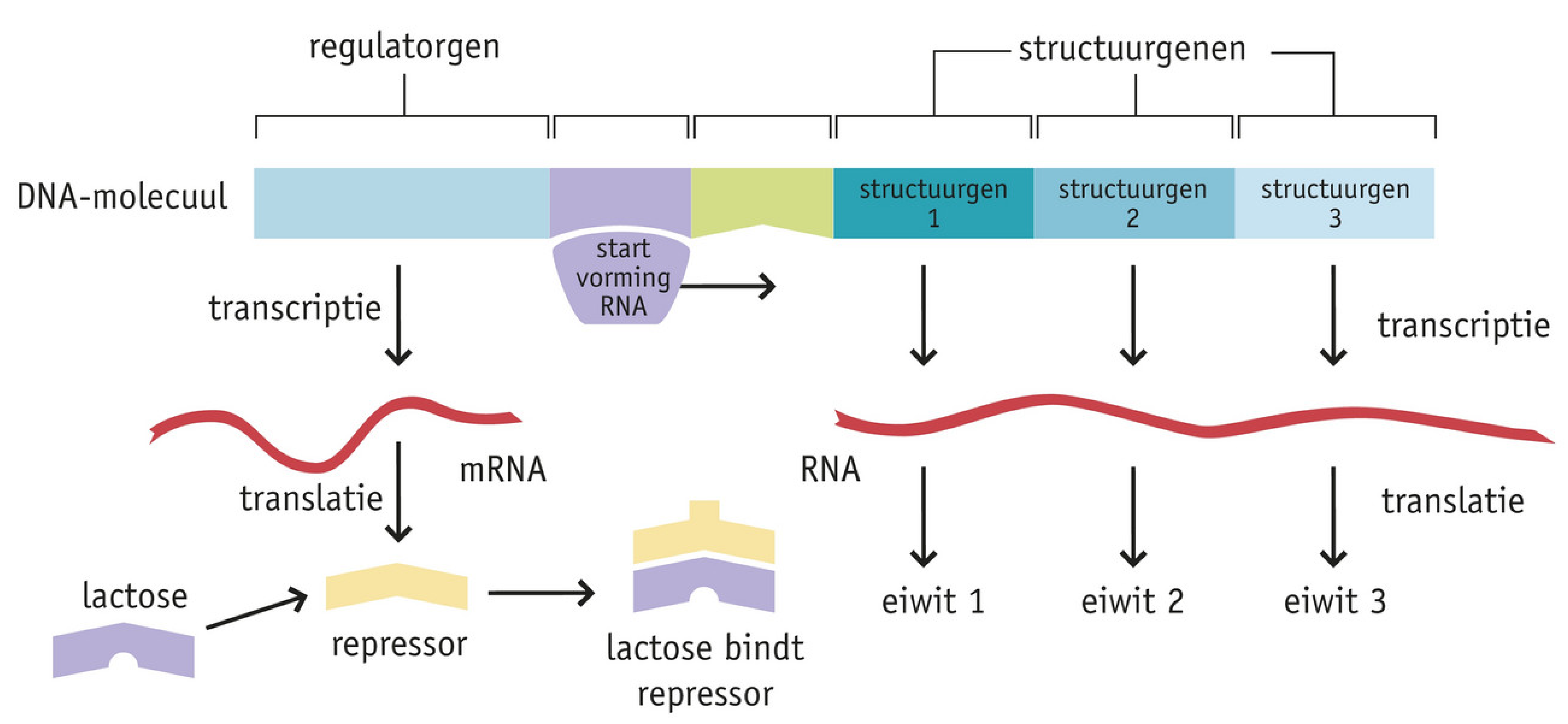
GENREGULATIE BIJ PROKARYOTEN

In prokaryoten bevatten **structuurgenen** de informatie voor de eiwitsynthese. Langs structuurgenen kan transcriptie plaatsvinden. Met de RNA-moleculen die hierbij worden gevormd, kunnen ribosomen eiwitten synthetiseren. De structuurgenen die coderen voor 'samenwerkende' producten, liggen bij prokaryoten vaak naast elkaar in het DNA-molecuul. Daardoor kan de expressie van deze genen tegelijk worden beïnvloed.
Wanneer er geen lactose aanwezig is, worden bij *E. coli* geen RNA-moleculen gevormd langs de structuurgenen. Er is dan een specifiek eiwitmolecuul (een **repressor**) gebonden aan de plaats die in het DNA vóór de structuurgenen ligt. Daardoor kan er geen RNA worden gevormd langs de structuurgenen. In afbeelding 25.1 is te zien dat het regulatorgen codeert voor het repressormolecuul. Het repressormolecuul heeft twee bindingsplaatsen. Behalve met het DNA kan het ook een binding aangaan met lactose. Wanneer er lactose aanwezig is, bindt lactose aan de repressor (zie afbeelding 25.2). De repressor laat hierdoor los van het DNA waardoor er wél RNA kan worden gevormd langs het DNA. Hiermee kunnen ribosomen β-galactosidase produceren voor de vertering van lactose. Door de aanwezigheid van lactose komen de structuurgenen tot expressie.

▶ **Afb. 25** Regulatie van het gen voor β-galactosidase in *E. coli*.



1 repressie van structuurgenen bij *E. coli*



2 opheffing van de repressie bij *E. coli*

opdracht

18 *E. coli* kan groeien op een voedingsbodem die geen enkel aminozuur bevat. *E. coli* is in staat alle eiwitten te produceren die nodig zijn om de synthese van alle twintig aminozuren te laten plaatsvinden. Als je een aminozuur aan een voedingsbodem toevoegt, stopt *E. coli* met de productie van de eiwitten die voor de synthese van dit aminozuur nodig zijn. Het aminozuur blijkt de productie van deze eiwitten te onderdrukken.

a Hoe heet het proces waarbij een stof die ontstaat, zijn eigen aanmaak afremt?

b De eiwitsynthese wordt onderdrukt door het toevoegen van aminozuren. Welk voordeel heeft dit voor *E. coli*?

c In afbeelding 25.2 bindt lactose aan de repressor. Wordt de repressor dan actief of inactief? Leg je antwoord uit.

d *E. coli* heeft vijf structuurgenen die coderen voor enzymen die betrokken zijn bij de synthese van het aminozuur tryptofaan. Tryptofaan komt onder andere voor in banaan, chocolade en melk.
Staan de structuurgenen aan of uit wanneer er voldoende tryptofaan aanwezig is in de dikke darm?

e Wanneer worden de structuurgenen actief? Leg je antwoord uit.

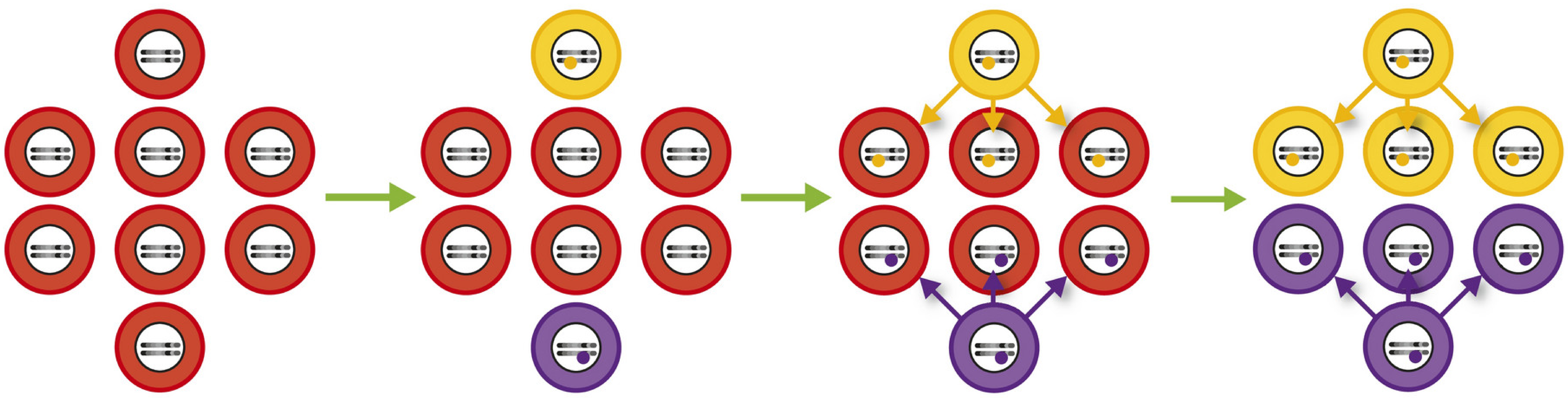
Genregulatie bij eukaryoten in ontwikkeling

Veel eukaryoten zijn meercellig. Een meercellig organisme ontwikkelt zich van een bevruchte eicel tot een volwassen individu met gespecialiseerde cellen die verschillende functies hebben. Mensen hebben bijvoorbeeld zo'n 220 verschillende **celtypen**. Deze cellen zijn ontstaan uit **stamcellen**. Dat zijn cellen die nog niet (volledig) zijn gespecialiseerd. Ze kunnen zich onbeperkt delen waarbij een van de dochtercellen een nieuwe stamcel wordt en de andere dochtercel zich door **celdifferentiatie** gaat specialiseren tot een specifiek celtype. De **embryonale stamcellen** die na de eerste delingen van een bevruchte eicel ontstaan, kunnen zich ontwikkelen tot elk celtype, ook tot celtypen die niet tot het embryo behoren, zoals de cellen van de placenta en navelstreng.
Stamcellen zijn niet alleen belangrijk bij de vroege ontwikkeling van een organisme. Ze spelen ook in jonge en volwassen organismen een grote rol. In bepaalde weefsels van een volwassen organisme zijn **adulte** (volwassen) **stamcellen** te vinden. Deze stamcellen kunnen zich alleen ontwikkelen tot een beperkt aantal celtypen. Bloedstamcellen kunnen zich bijvoorbeeld ontwikkelen tot verschillende soorten bloedcellen of bloedplaatjes. Adulte stamcellen zorgen voor voortdurende vernieuwing van cellen met een korte levensduur.

Celdifferentiatie

Embryonale stamcellen beïnvloeden elkaar doordat in hun DNA regulatorgenen tot expressie worden gebracht, waardoor eiwitten worden gevormd. De plaats van een stamcel in het klompje embryonale stamcellen bepaalt welk regulatorgen er wordt aangezet. De eiwitten waarvoor de regulatorgenen de code bevatten, bepalen vervolgens dat andere genen worden aan- of uitgezet (zie afbeelding 26). Zo zorgen de eiwitten van sommige genen ervoor dat de cel zich gaat differentiëren. Andere genen coderen voor eiwitten die genen in de eigen cel of in nabijgelegen stamcellen beïnvloeden. Die kunnen weer een volgend regulatorgen beïnvloeden. Zo ontstaan er, door een aaneenschakeling van genregulatie en genexpressie, verschillende gespecialiseerde cellen, weefsels en organen in een meercellig organisme.

▼ **Afb. 26** Genregulatie en celdifferentiatie in embryonale stamcellen.



1 In de bovenste en onderste stamcel komen verschillende regulatorgenen tot expressie, waardoor er verschillende eiwitten worden gemaakt.

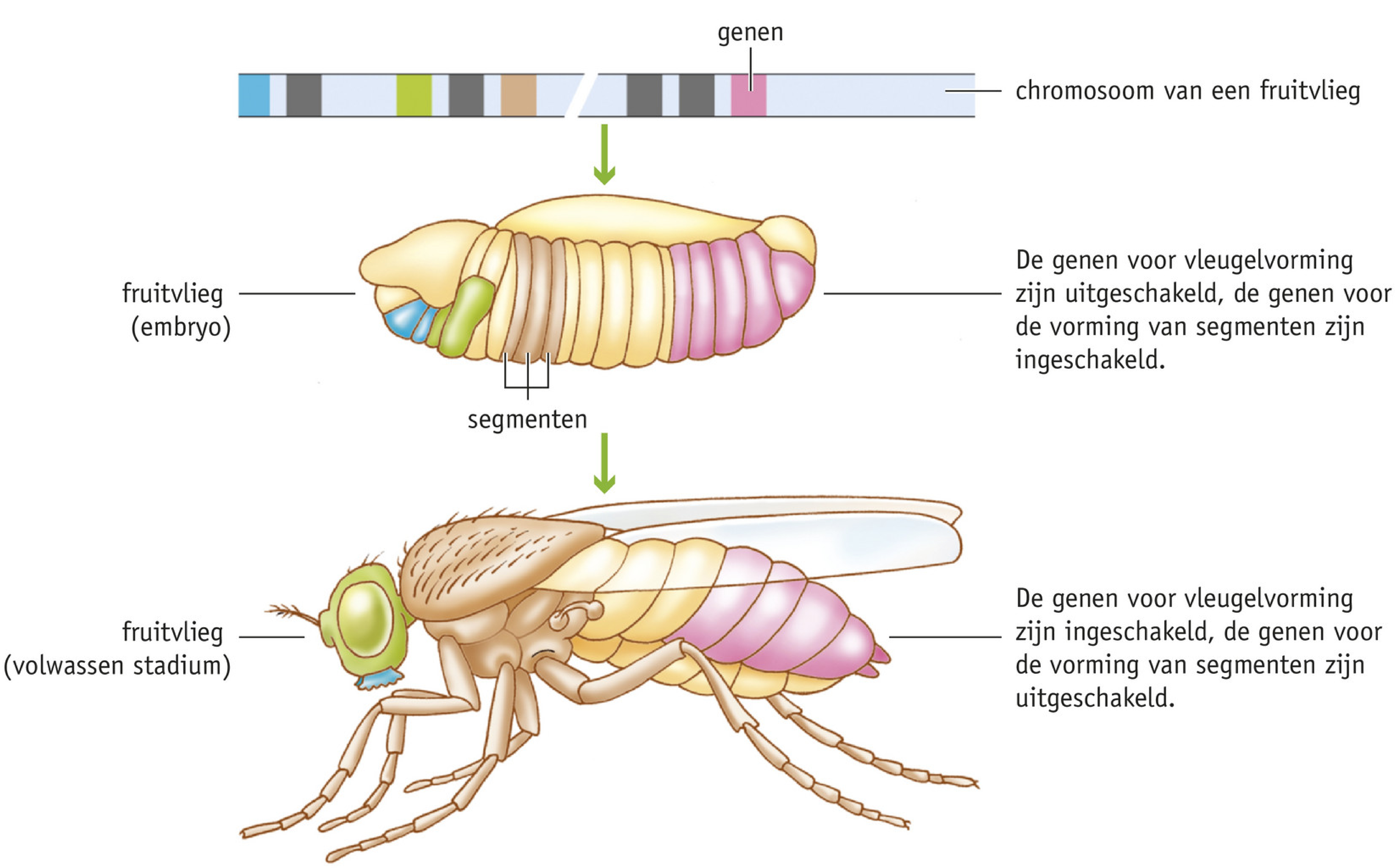
2 Door binding van de eiwitten komen verschillende genen in het DNA van de cel tot expressie, waardoor de cellen differentiëren.

3 Regulatorgenen coderen voor eiwitten en deze binden aan specifieke genen in nabijgelegen cellen.

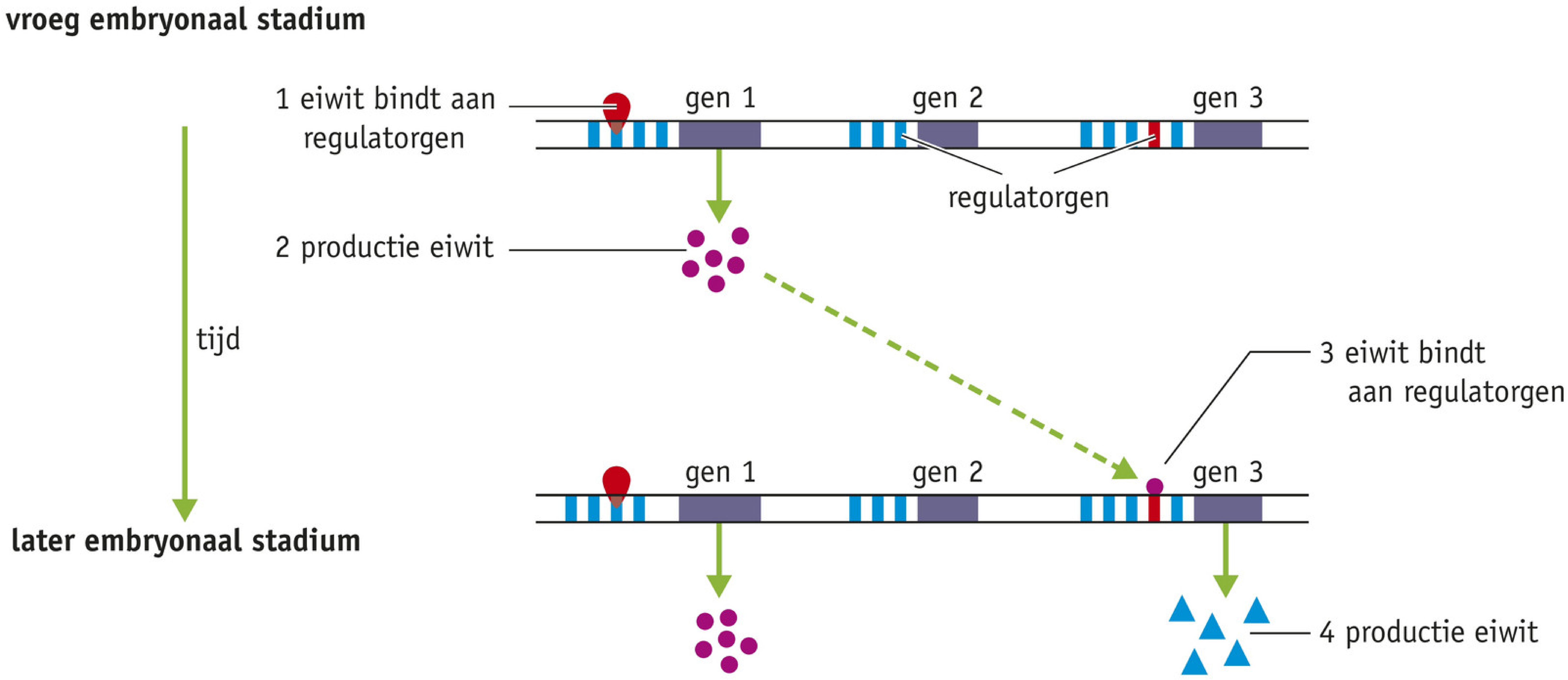
4 Door genexpressie gaan ook deze cellen zich differentiëren.

Gedurende de verschillende fasen van de ontwikkeling van een organisme kunnen er in stamcellen andere genen tot expressie worden gebracht (zie afbeelding 27 en 28). Door de wisselende genexpressie ontstaan er gedifferentieerde cellen waaruit zich nieuwe weefsels en organen kunnen ontwikkelen.

▼ **Afb. 27** Regulatie van de genexpressie tijdens de ontwikkeling van een fruitvlieg.



▼ **Afb. 28** Het reguleren van de genexpressie tijdens verschillende fasen van de embryonale ontwikkeling.



opdrachten

19 Welk type stamcel is een bevruchte eicel? En welk type stamcel is een huidstamcel?

▼ **Afb. 29** Een poot van een fruitvliegje met een oog erop.



20 Bij fruitvliegjes produceert het regulatorgen Ey een eiwit dat genen aanzet die verantwoordelijk zijn voor de vorming van een oog. Door kunstmatig ingrijpen van onderzoekers in een vroeg embryonaal stadium, ontstaan fruitvliegjes met een oog op hun poot (zie afbeelding 29).

a Beschrijf hoe de onderzoekers hebben ingegrepen in de embryonale ontwikkeling. Gebruik hierbij de volgende woorden: *differentiëren – expressie – Ey-gen*.

b Wat tonen de onderzoekers met dit experiment aan?

21 Bij mensen wordt op het moment van de bevruchting bepaald of het embryo een vrouw of een man wordt. Dit hangt af van het paar geslachtschromosomen in een bevruchte eicel: XX of XY. Het SRY-gen dat is gelegen op het Y-chromosoom, stuurt de ontwikkeling van een embryo tot een man. Het gen produceert eiwitten die een aantal andere genen activeren en die de genen van het X-chromosoom onderdrukken. Hierdoor ontwikkelt het embryo zich uiteindelijk tot een man. Toch zijn alle embryo's in de eerste vijf tot zes weken vrouwelijk.

a Geef een verklaring voor het feit dat alle embryo's de eerste vijf tot zes weken fenotypisch vrouwelijk zijn.

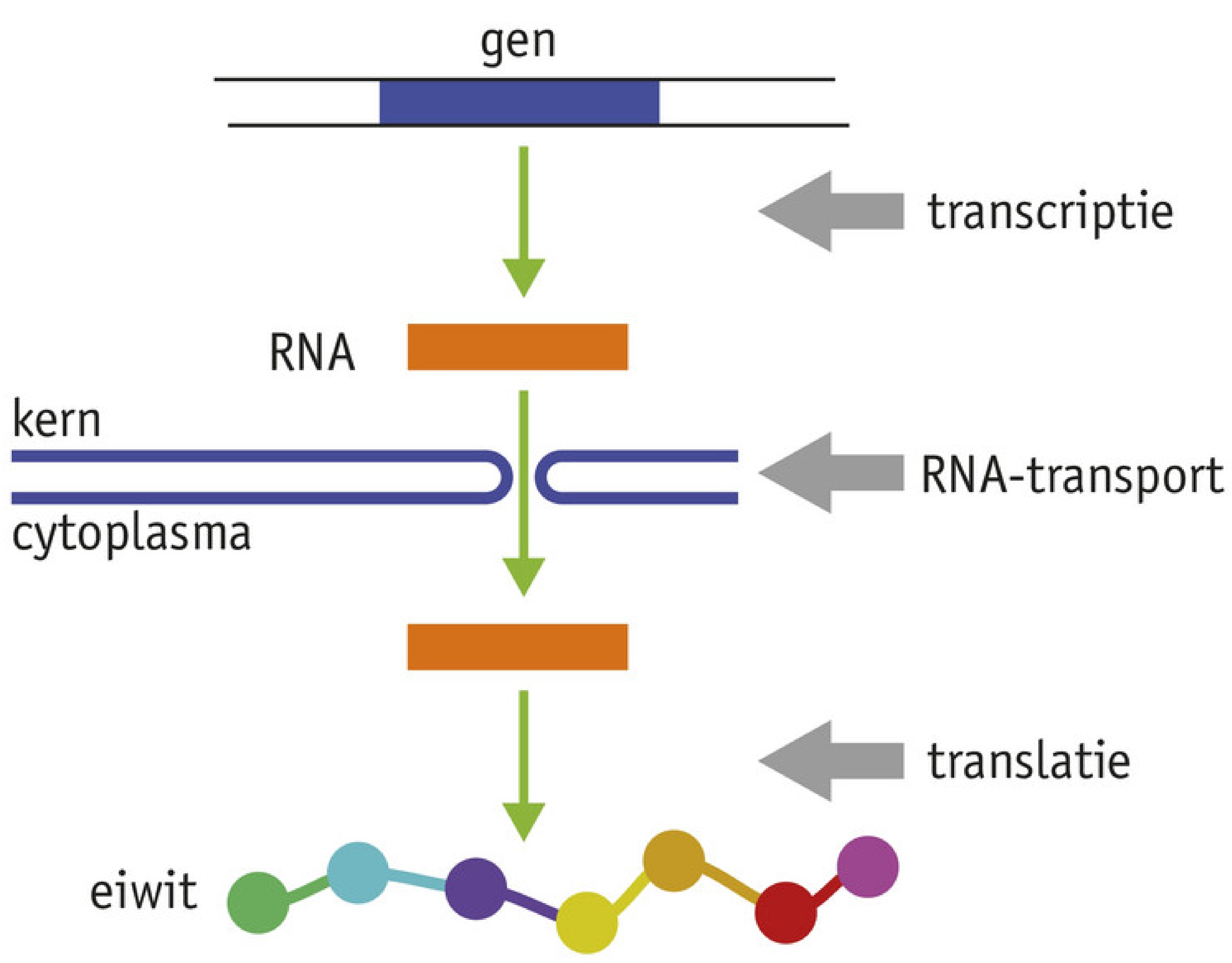
b Op het moment van de bevruchting ligt vast tot welk geslacht een embryo zich gaat ontwikkelen.
Leg uit hoe het dan mogelijk is dat mannen tepels hebben.

c Bij iemand waarbij het SRY-gen op het Y-chromosoom niet tot expressie komt, is het fenotype in strijd met het genotype. Leg dat uit.

GENREGULATIE BIJ VOLWASSEN EUKARYOTEN

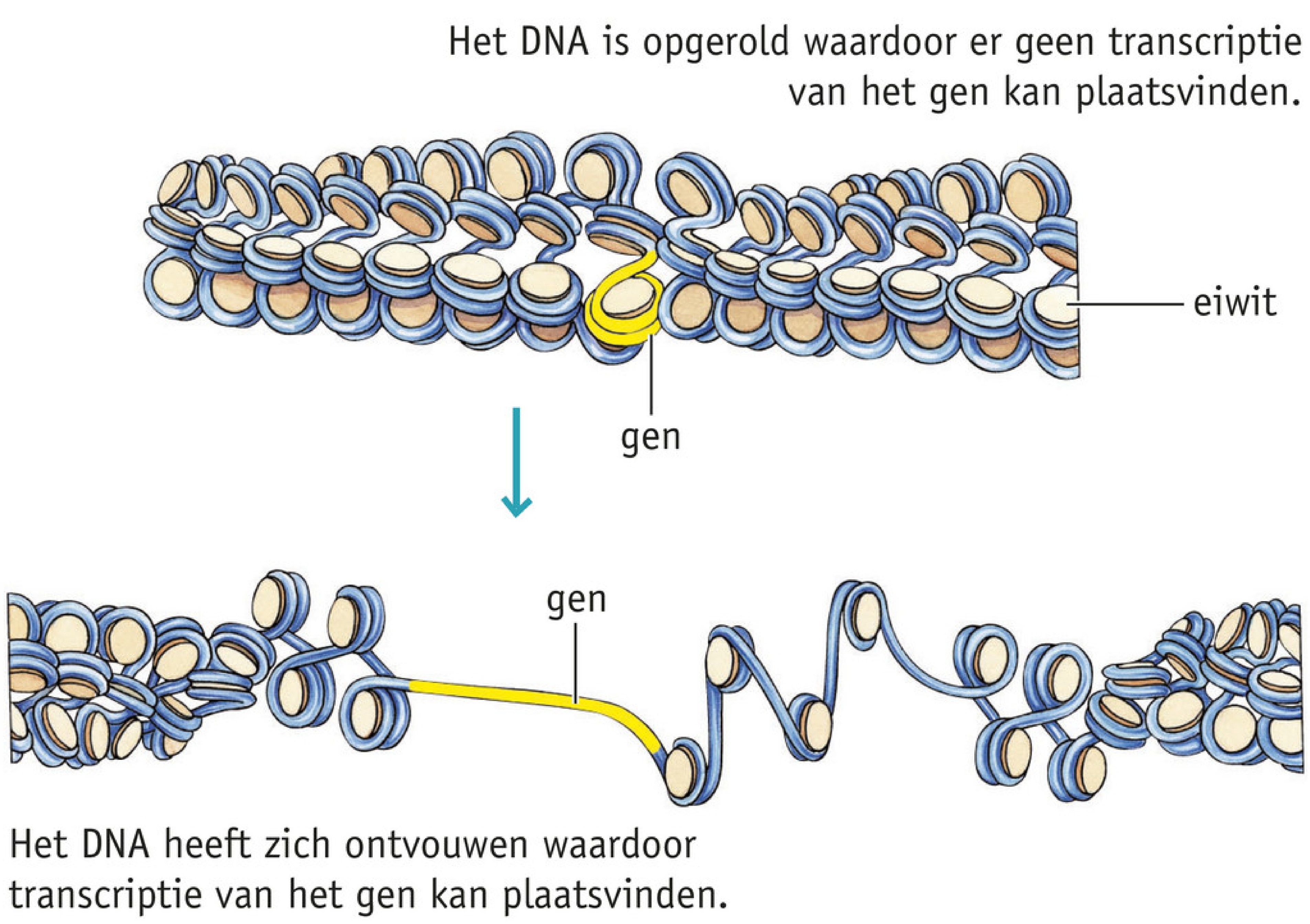
Ook bij volwassen eukaryoten is de genexpressie afhankelijk van de functie van de cel en van de omstandigheden. De cel maakt hierdoor geen overbodige producten. In een menselijke cel komen op een willekeurig moment gemiddeld 3% tot 5% van de genen tot expressie.
Alle stappen in de genexpressie kunnen worden gereguleerd (zie afbeelding 30), maar het belangrijkste controlepunt is het wel of niet laten plaatsvinden van transcriptie. Een gen kan worden uitgezet doordat bijvoorbeeld repressors binden aan bepaalde sequenties in het DNA. Zij blokkeren daardoor de transcriptie.

▶ **Afb. 30** Mogelijkheden voor genregulatie bij de eiwitsynthese.



Bij eukaryote organismen moet het compacte DNA eerst worden ontvouwd om transcriptie mogelijk te maken (zie afbeelding 31). Door DNA compact te maken, kan er geen transcriptie plaatsvinden langs het DNA en wordt de genexpressie geblokkeerd.

▶ **Afb. 31** DNA ontvouwt zich om transcriptie mogelijk te maken.



Bepaalde stoffen kunnen de eiwitten in het DNA ertoe aanzetten om het DNA steviger of juist losser te binden. Dat bepaalt de mate waarin het DNA is af te lezen. Soms is DNA op bepaalde plaatsen niet meer af te lezen doordat er methylgroepen ($-CH_3$) aan de stikstofbasen in het DNA zijn gebonden (meestal aan cytosine). Dit noem je **DNA-methylering**. De volgorde van de nucleotiden verandert hierdoor niet. Wanneer bij een organisme bepaalde genen zijn gemethyleerd, wordt bij elke celdeling de nieuwe DNA-streng die na replicatie is ontstaan, ook gemethyleerd. Op deze manier kunnen methyleringspatronen zelfs worden doorgegeven aan het nageslacht.

EPIGENETICA

De wetenschap van de **epigenetica** houdt zich bezig met het bestuderen van omkeerbare veranderingen in de activiteit van genen, die niet het gevolg zijn van veranderingen in de nucleotidevolgorde van het DNA. Voorbeelden hiervan zijn het steviger of losser binden van DNA door de eiwitten in DNA en DNA-methylering.
De nucleotidevolgorde van het DNA bepaalt welke eiwitten een gen aanmaakt. De activiteit van een gen wordt beïnvloed door de celfunctie en de omstandigheden. Invloeden die de werking van genen beïnvloeden, noem je de **epigenetische factoren**. Voorbeelden hiervan zijn stress, voeding en drugs. Deze factoren kunnen gunstig of ongunstig zijn doordat zij de genregulatie veranderen en daardoor de aanmaak van eiwitten beïnvloeden. Door genen aan of uit te zetten, kun je je snel aanpassen aan de omstandigheden. De overlevingskansen van een organisme zijn dan groter en dat is een evolutionair voordeel. Door DNA-methylering kunnen genen voor langere tijd worden aan- of uitgezet. Bij DNA-replicatie wordt deze toestand doorgegeven aan dochtercellen en bij de voortplanting aan het nageslacht. Wanneer de omstandigheden hetzelfde blijven, levert dit een evolutionair voordeel op voor het organisme en zijn nakomelingen. Wanneer de omstandigheden veranderen, kan het een nadeel zijn.

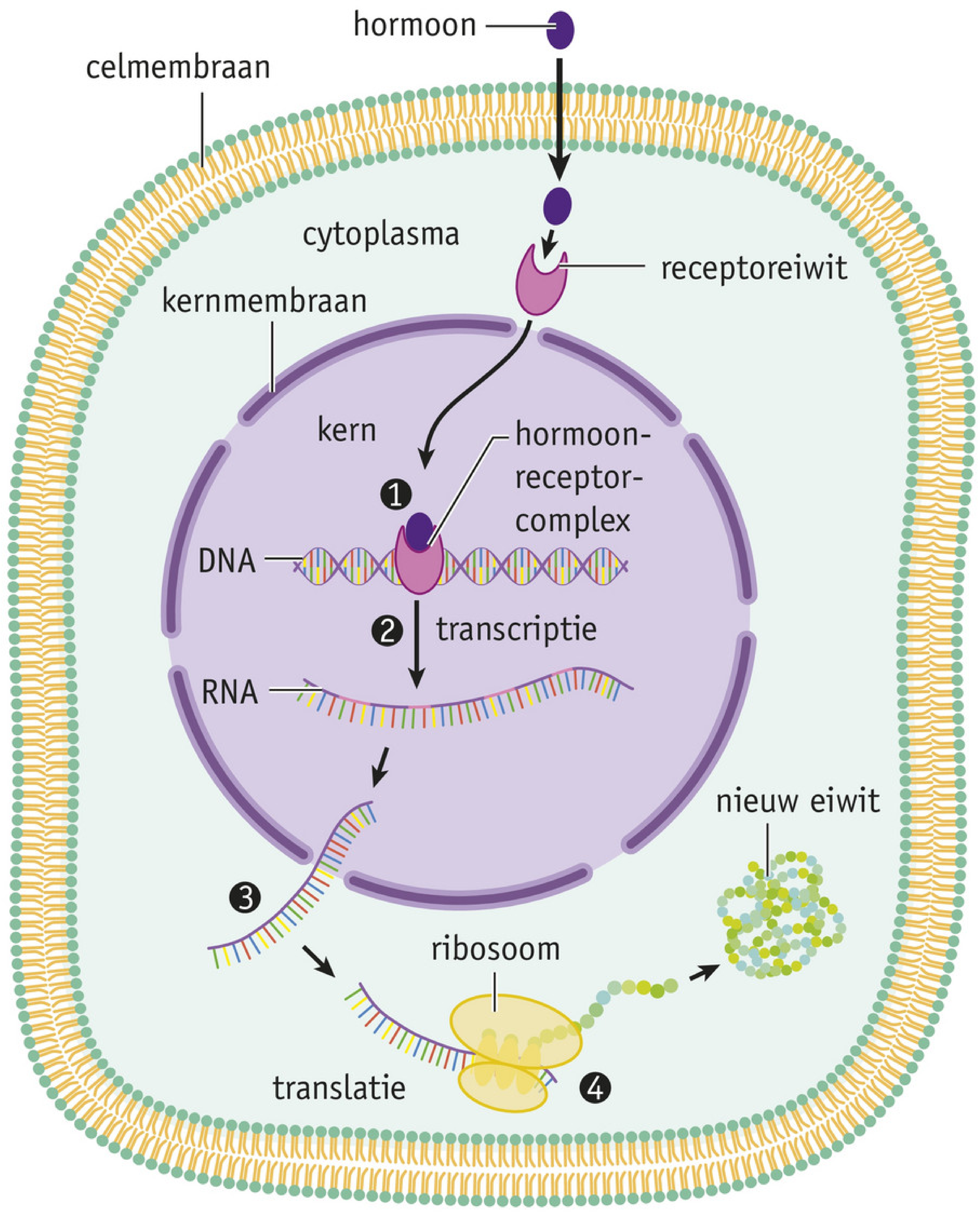
opdrachten

22 a Hoe kunnen zenuwcellen en huidcellen zich zo verschillend hebben ontwikkeld, terwijl in deze cellen hetzelfde DNA aanwezig is?

b Met behulp van stamceltherapie hopen onderzoekers bij patiënten beschadigde cellen of zelfs hele organen te kunnen vervangen. De stamcellen zijn vaak afkomstig van embryo's. Inmiddels kunnen ook bijvoorbeeld huidcellen direct worden omgevormd tot stamcellen door een paar RNA-ketens aan de huidcellen toe te voegen.
Leg uit hoe dit kan.

c Sommige hormonen beïnvloeden cellen door genregulatie. In afbeelding 32 zie je de reeks van processen die plaatsvindt wanneer een hormoon bindt aan een receptoreiwit.
Geef een korte beschrijving van de processen of de naam van het proces.

▶ **Afb. 32** Genregulatie bij eukaryoten (schematisch).



23 a In stresssituaties produceert de bijnierschors meer van het hormoon cortisol (stresshormoon). Wanneer zwangere vrouwen gedurende langere tijd worden blootgesteld aan stress, wordt later bij hun kinderen vaak een verhoogd cortisolgehalte gemeten. Leg dat uit.

b Wat is het verschil in ontstaan tussen erfelijke aandoeningen en epigenetische aandoeningen?

c Op welke twee manieren komen epigenetische aandoeningen tot stand?

d Op welke manier kunnen epigenetisch verworven eigenschappen een evolutionair voordeel opleveren?

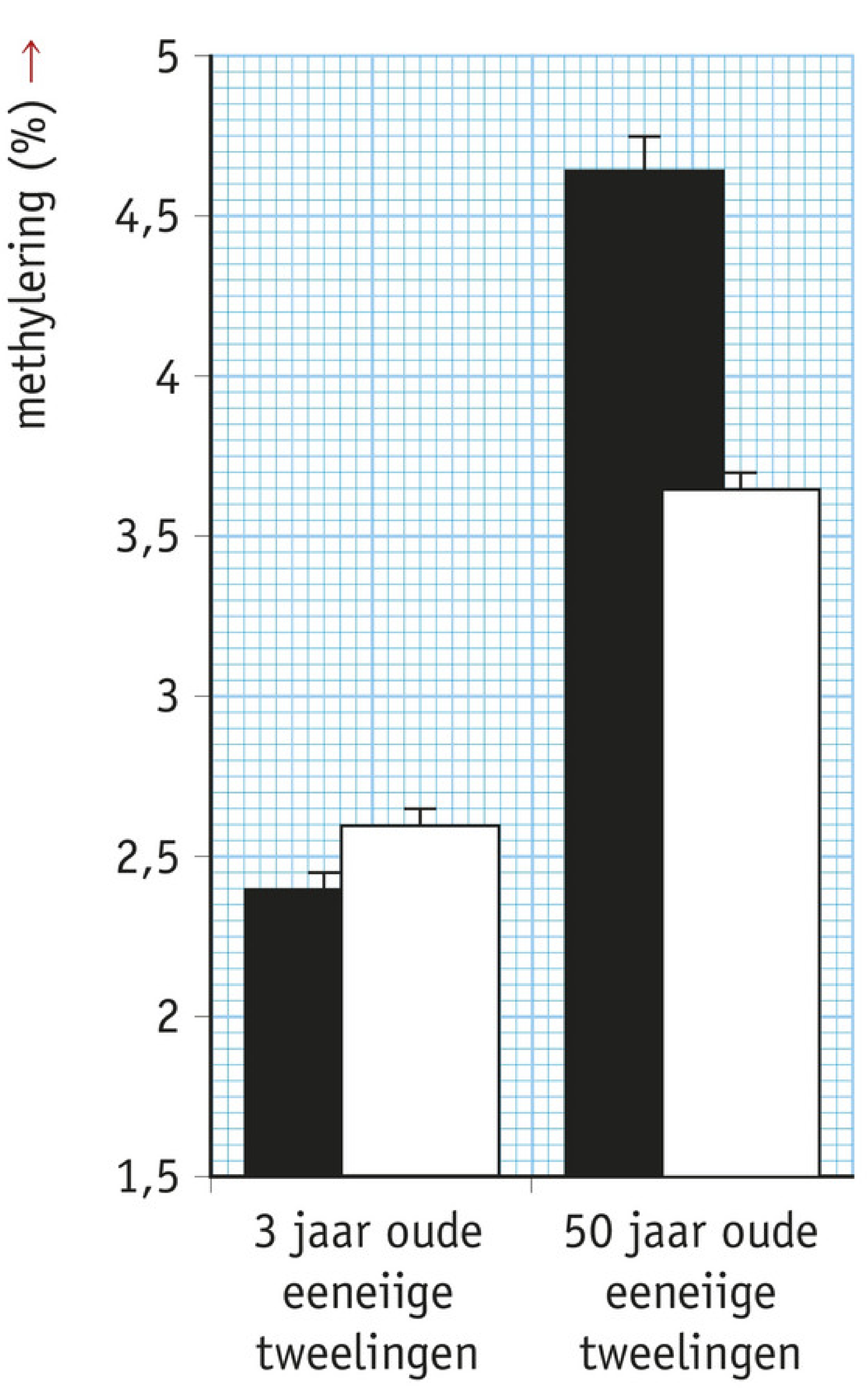
24 Eeneiige tweelingen zijn genetisch identiek. In het begin van hun leven verschillen ze ook epigenetisch nauwelijks. In afbeelding 33 zie je het percentage DNA-methylering bij tweelingen van 3 jaar en tweelingen van 50 jaar oud.

a Vergelijk de percentages. Welke conclusie kun je trekken?

b Als de leden van een eeneiige tweeling apart zijn opgegroeid, is het epigenetische verschil nog groter. Leg dat uit.

c Verklaar waarom één persoon van een eeneiige tweeling soms een bepaalde aandoening heeft en de andere niet. Maak gebruik van de informatie in afbeelding 33.

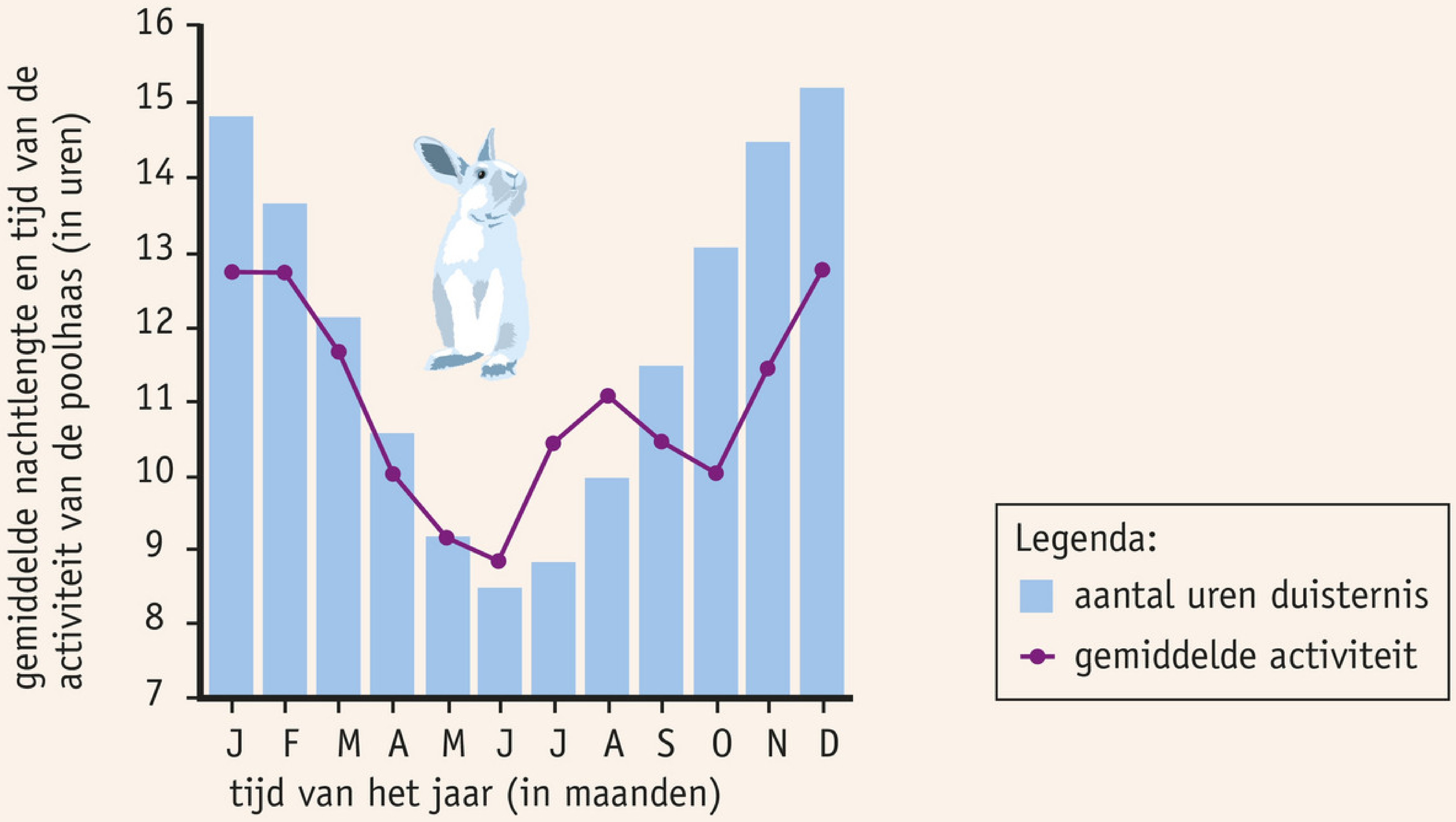
▼ **Afb. 33** DNA-methylering.



CONTEXT Leefwereld

Verandering van vachtkleur

IJsberen en sneeuwuilen hebben het hele jaar door een witte vacht. Poolhazen, hermelijnen, lemmingen en poolvossen hebben een witte wintervacht en een bruine zomervacht. Deze pooldieren hebben genen die ervoor zorgen dat de vachtkleur wordt aangepast aan het seizoen. Dat gebeurt onder invloed van de hoeveelheid licht. Behalve staafjes en kegeltjes bevat het netvlies bij zoogdieren lichtreceptoren met het lichtgevoelige pigment melanopsine. Door licht wordt melanopsine in de lichtreceptoren afgebroken waardoor er impulsen ontstaan die door zenuwcellen worden doorgegeven aan cellen in de hypothalamus. Deze cellen maken het hormoon melatonine aan dat de productie van het pigment melanine in de vacht stimuleert.



Afb. 34 Gemiddeld aantal uren duisternis en gemiddeld aantal uren activiteit van de poolhaas per maand.

opdracht

25 Bekijk in afbeelding 34 wanneer een poolhaas de meeste activiteit vertoont.

a Welke conclusie kun je hieruit trekken over de leefwijze van een poolhaas?

b Een melanocyt is een bepaald type huidcel. Wanneer melatonine bindt aan een receptor in het membraan van een melanocyt, komt in het DNA een gen tot expressie waardoor een zwart pigment (eumelanine) of rood pigment (feomelanine) wordt geproduceerd.
Wat bepaalt of er een rood of zwart pigment wordt geproduceerd door een melanocyt?

c Leg uit hoe een witte vacht bij poolhazen in de winter ontstaat. Gebruik hierbij afbeelding 34.

d Melatonine zorgt er bij mensen voor dat ze slaperig worden. Licht remt de aanmaak van melatonine. Ook het licht van computers en smartphones remmen de aanmaak van deze stof.
Leg uit waarom het wordt afgeraden om twee uur voordat je gaat slapen gebruik te maken van een computer of smartphone.

e De opwarming van de aarde kan de overlevingskans van de poolhaas verkleinen. Leg dat uit.

Leerdoel
– Je kunt de verschillende typen en uitwerkingen van mutaties beschrijven.

5 Mutaties

Mutaties kunnen de gewoonten van een organisme sterk veranderen. Zo hebben panda's door een mutatie hun smaak voor vlees verloren en zijn ze bamboe gaan eten. Maar wat verdween er eerst: het vlees of de smaak voor vlees?

MUTATIES
Tijdens de replicatie van DNA ontstaan regelmatig fouten, waardoor een verandering in de nucleotidevolgorde ontstaat. Zo'n verandering in het DNA van een cel noem je een **mutatie**. Er zijn verschillende typen mutaties. Zo kan het aantal nucleotiden dat betrokken is bij mutaties verschillen. Het kan gaan om één nucleotidepaar, enkele nucleotideparen, een lange sequentie van DNA of een heel chromosoom. Bij sommige mutaties is er sprake van vervanging van nucleotiden door andere nucleotiden. Bij andere mutaties worden nucleotiden uit het DNA verwijderd of worden nucleotiden aan het DNA toegevoegd.
Veel mutaties hebben afwijkingen tot gevolg en kunnen voor een individu nadelig zijn. Maar door mutaties neemt ook de genetische variatie in de nakomelingen toe. Als de omstandigheden veranderen, kunnen mutaties zo een voordeel opleveren voor een individu of populatie.

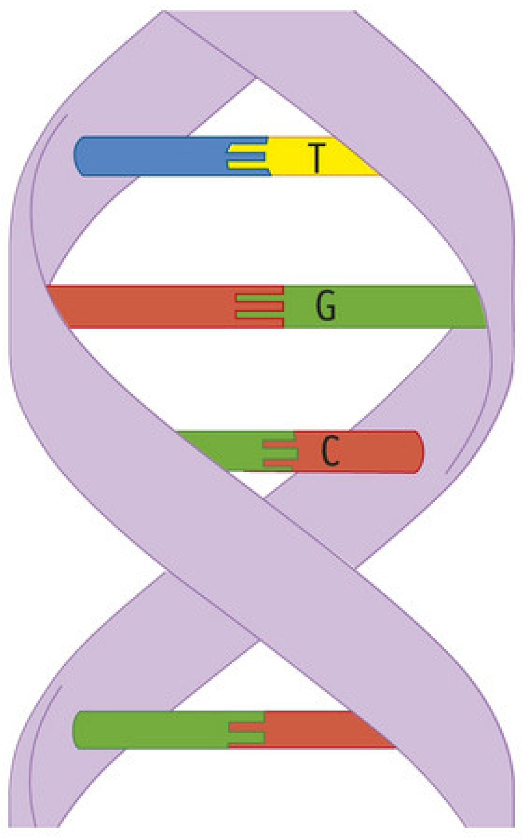
PUNTMUTATIES
Een **puntmutatie** is een verandering in één nucleotidepaar. Dit kan een vervanging zijn van een nucleotidepaar door een ander nucleotidepaar. Het kan ook een invoeging of een verwijdering van een nucleotidepaar zijn.

opdracht

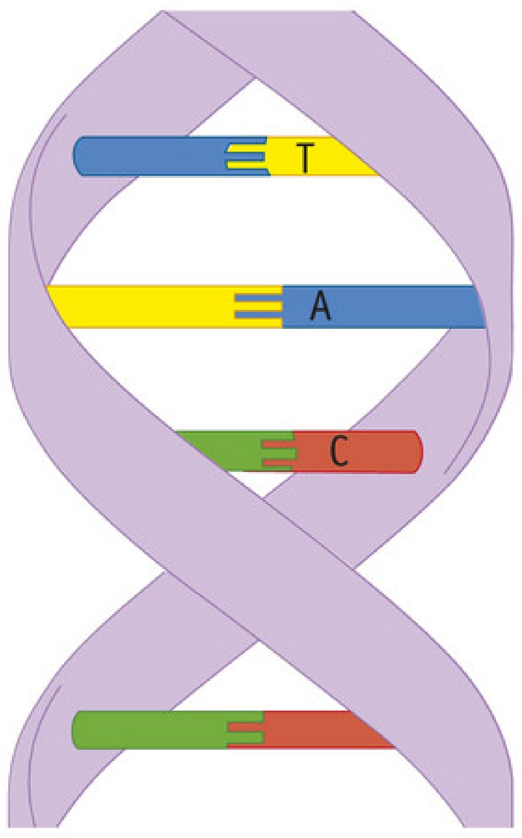
26 Hemochromatose is een erfelijke aandoening waarbij de transporteiwitten, die ijzer vanuit de dunne darm naar de bloedvaten transporteren, veel meer ijzer dan normaal vervoeren. Hemochromatose wordt veroorzaakt door een puntmutatie in het HFE-gen. In afbeelding 35 is de puntmutatie in dit gen schematisch weergegeven. Gebruik bij opdracht a en b de genetische code (*Binas* of afbeelding 19).

a Voor welk aminozuur codeert het codon TGC in het normale HFE-gen?
b Voor welk aminozuur codeert het codon TAC in het gemuteerde HFE-gen?
c Welke gevolgen heeft de mutatie in het HFE-gen voor de samenstelling van het transporteiwit voor ijzer?
d Heeft de mutatie ook gevolgen voor de werking van het transporteiwit? Leg je antwoord uit.

▶ **Afb. 35** Puntmutatie (schematisch).



normale HFE-gen

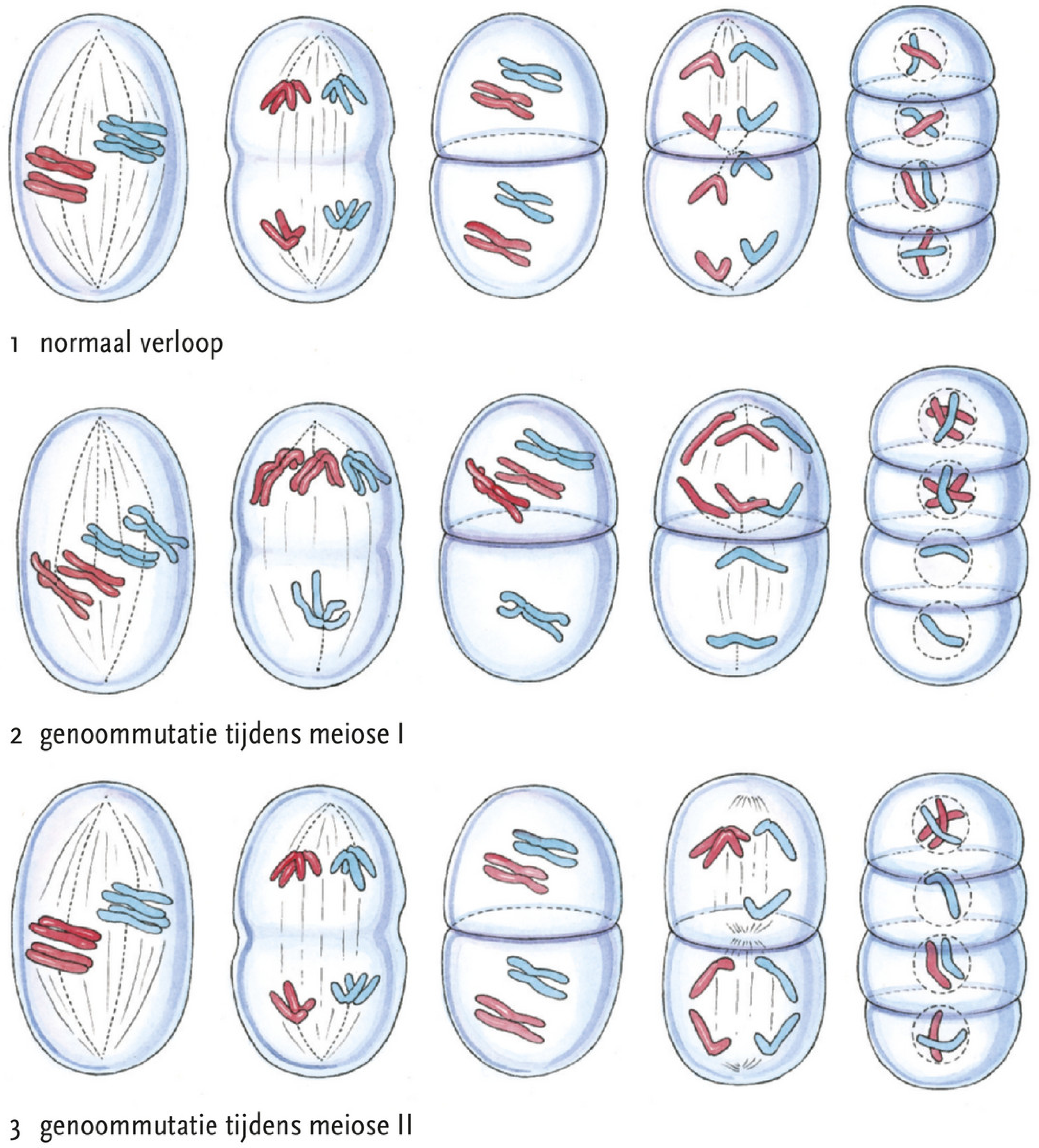


gemuteerde HFE-gen

GENOOMMUTATIES

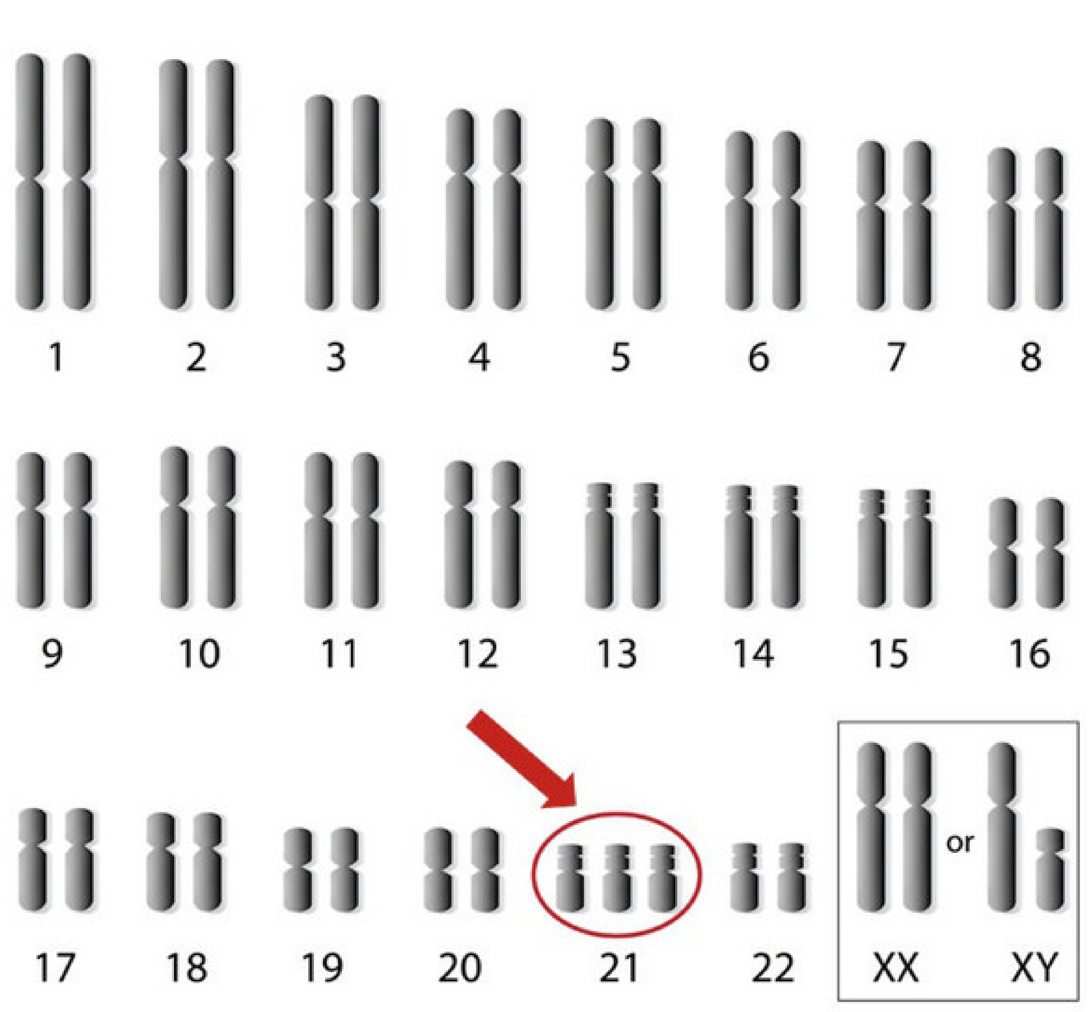
Bij **genoommutaties** verandert het aantal chromosomen in een cel. Genoommutaties kunnen optreden doordat tijdens meiose I een paar chromosomen bij elkaar blijft.

► **Afb. 36** Meiose (er zijn steeds maar twee chromosomen getekend).



Beide chromosomen gaan naar dezelfde pool en komen samen in een van de dochtercellen terecht (zie afbeelding 36.2). Genoommmutaties kunnen ook optreden doordat tijdens meiose II twee chromatiden bij elkaar blijven (zie afbeelding 36.3). Bij beide genoommutaties ontstaan geslachtscellen waarin één chromosoom dubbel voorkomt en geslachtscellen waarin één chromosoom ontbreekt.

▼ **Afb. 37** Karyogram van een persoon met het syndroom van Down.



Na bevruchting met een geslachtscel met een afwijkend chromosomenaantal ontstaat een zygote met één chromosoom te veel of één chromosoom te weinig. Meestal is de zygote dan niet levensvatbaar.
Een voorbeeld van een genoommutatie is het ontstaan van een kind met het syndroom van Down. Hierbij komt het eenentwintigste chromosoom in drievoud voor in de celkern (zie afbeelding 37). Het afwijkende chromosomenaantal veroorzaakt vaak een achterstand in de geestelijke ontwikkeling en een kenmerkend uiterlijk (zie afbeelding 38).

► **Afb. 38** Een jongen met het syndroom van Down.



OORZAKEN VAN MUTATIES

▼ **Afb. 39** Basaalcelcarcinoom is de meest voorkomende vorm van huidkanker.



Mutaties kunnen spontaan plaatsvinden, maar door blootstelling aan **mutagene straling** (zoals radioactieve straling, röntgenstraling of ultraviolette straling), **mutagene stoffen** (zoals stoffen in sigarettenrook en asbest) of aan virussen, komen ze vaker voor. Deze mutagene invloeden verhogen de frequentie waarmee mutaties plaatsvinden.
Bij het gebruik van röntgenapparatuur komt mutagene straling vrij. Hoewel deze straling minder schadelijk is dan radioactieve straling, worden er bij een patiënt niet meer röntgenfoto's gemaakt dan strikt noodzakelijk is. Bestraling van de voortplantingsorganen wordt daarbij vermeden. Elke keer dat je aan röntgenstralen wordt blootgesteld, kan het DNA in lichaamscellen worden beschadigd door mutaties. Door de mutagene werking van ultraviolette straling in zonlicht kan huidkanker ontstaan (zie afbeelding 39).

DNA-REPARATIE

In een celkern zijn continu enzymen werkzaam die beschadigingen opsporen en repareren. Ze verwijderen verkeerd ingebouwde stikstofbasen of nucleotiden uit het DNA. Vervolgens zorgt DNA-polymerase ervoor dat de juiste nucleotiden worden ingebouwd. Doordat wijzigingen in het DNA onmiddellijk worden gerepareerd, zijn de meeste tijdelijk. Maar als DNA-replicatie plaatsvindt voordat de repararende enzymen hun werk hebben voltooid, zullen de dochtercellen dezelfde DNA-schade hebben. Daarom zorgt het **tumorsuppressorgen** ervoor dat de celcyclus stil komt te liggen. Door expressie van het tumorsuppressorgen worden eiwitten gemaakt die voorkomen dat een cel zich deelt voordat de DNA-reparatie is afgerond. Zo kan eerst de schade worden hersteld. De eiwitten zorgen er tevens voor dat een cel met te veel of onherstelbare DNA-schade wordt afgebroken en overgaat tot celdood.

DE EFFECTEN VAN MUTATIES

Het effect van mutaties hangt af van het type cel waarin de mutatie plaatsvindt en van de aard van de mutatie. Wanneer een mutatie optreedt in een geslachtscel, in een bevruchte eicel of in een cel van een embryo, kan dat grote gevolgen hebben. Alle cellen van de nakomeling bevatten dan deze mutatie. Het effect van mutaties in lichaamscellen is vaak gering en deze mutaties zijn bovendien niet erfelijk. Maar mutaties in lichaamscellen kunnen wel leiden tot kanker.
Sommige mutaties hebben geen merkbare gevolgen. Ze veranderen het genotype, maar hebben geen invloed op het fenotype. Dit is bijvoorbeeld het geval wanneer een mutatie heeft plaatsgevonden in een lichaamscel, of wanneer het gen waarin

de mutatie heeft plaatsgevonden uit staat. Soms verandert de werking van een eiwit niet door een mutatie. Ook kan door een mutatie een recessief allel ontstaan. Het allel in het andere chromosoom dat nog intact is, bevat dan de code voor een ongewijzigd, werkzaam eiwit. Mutaties kunnen ook een positief effect hebben.
Ze kunnen een rol spelen bij de evolutie en ervoor zorgen dat een mutant een grotere overlevingskans heeft ten opzichte van soortgenoten zonder deze mutatie. Hierdoor neemt de overlevingskans van de populatie toe. En door opeenvolgingen van mutaties, recombinatie en natuurlijke selectie kunnen nieuwe soorten ontstaan.

opdrachten

27 a Noteer drie oorzaken waardoor een opgetreden mutatie meestal geen merkbare gevolgen heeft.

b Leg uit hoe het komt dat gemuteerde allelen meestal recessief zijn.

c Soms ontstaat door een mutatie een allel dat zorgt voor de synthese van een eiwit dat een werkzaam enzym blokkeert.
Is zo'n mutatie ook recessief? Leg je antwoord uit.

28 Het syndroom van Turner is een chromosomale afwijking waarbij vrouwen een X-chromosoom missen. Vrouwen met het syndroom worden niet langer dan 1,50 meter, hebben gezwollen handen en voeten, een brede borstkas en hals, ver uit elkaar staande tepels en hebben last van hart- en nierproblemen. De voortplantingsorganen ontwikkelen zich alleen wanneer hormonen worden toegediend.

a Welk type mutatie is opgetreden bij het syndroom van Turner?

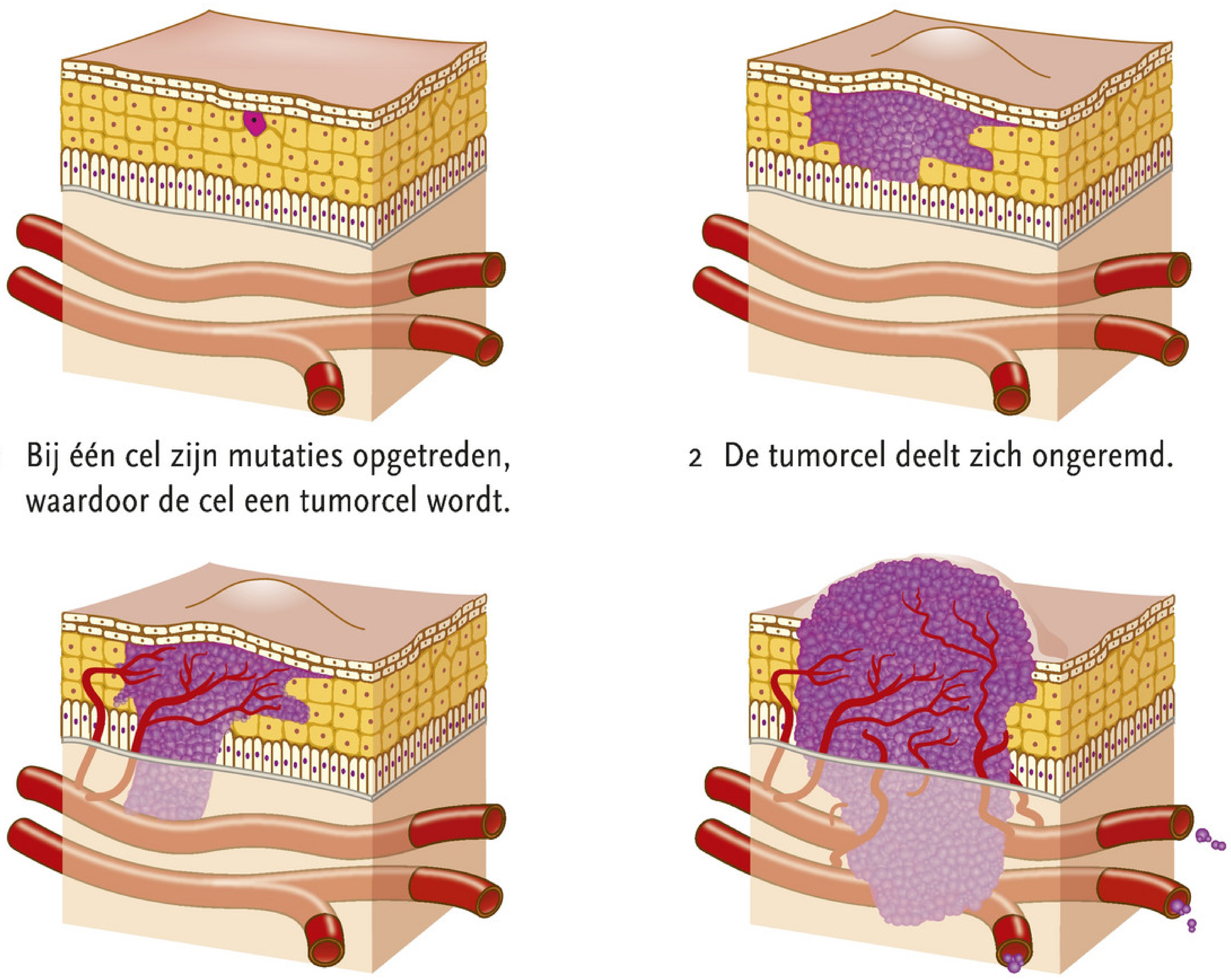
b Leg uit hoe de mutatie ontstaat en hoe een vrouw hierdoor een X-chromosoom mist.

HET ONTSTAAN VAN KANKER

De snelheid waarmee celdeling in verschillende lichaamsdelen plaatsvindt, wordt nauwkeurig geregeld door tumorsuppressorgenen en proto-oncogenen. **Proto-oncogenen** coderen voor eiwitten die de celgroei en de celdifferentiatie stimuleren. De celdeling bij de productie van rode bloedcellen in het rode beenmerg bijvoorbeeld vindt zeer snel plaats. De celdeling in bindweefsel verloopt langzaam. Maar een diepe vleeswond groeit vrij snel dicht met bindweefsel (littekenweefsel). Als de wond dicht is, neemt de snelheid van celdeling weer af. Het nauwe contact met de omringende cellen remt de celdeling.
Soms kunnen cellen zich ongeremd gaan delen. Bijvoorbeeld wanneer een mutatie plaatsvindt in een tumorsuppressorgen en in een proto-oncogen. Door een mutatie in een tumorsuppressorgen is er geen rem meer op de celcyclus, waardoor schade aan het DNA niet meer wordt hersteld voordat de cel zich deelt. De dochtercellen hebben dan dezelfde DNA-schade en cellen met te veel of onherstelbare DNA-schade zullen niet overgaan tot celdood. Zo komen er steeds meer cellen met DNA-schade bij en het DNA in deze cellen zal bovendien steeds verder beschadigd raken.
Een proto-oncogen kan door een mutatie veranderen in een **oncogen**. Een oncogen zet een cel aan tot abnormaal snel groeien en delen. Wanneer een tumorsuppressorgen er in zo'n geval niet voor zorgt dat de cel overgaat tot celdood, kan een gezwel (**tumor**) ontstaan. Sommige tumoren groeien langzaam doordat de remmende stoffen uit de omringende cellen nog invloed hebben op de delingssnelheid. Wanneer zo'n tumor de bouw van het weefsel niet verstoort

en er geen cellen loslaten die elders uitzaaiingen veroorzaken, noem je een tumor goedaardig. Als een **goedaardige tumor** klachten veroorzaakt, kan hij operatief worden verwijderd.
Bij kanker ontstaan **kwaadaardige tumoren**. Door mutaties in meerdere genen is de cel ongevoelig geworden voor stoffen die de celdeling remmen. De delingssnelheid van de cellen is hierdoor bij een kwaadaardige tumor veel hoger dan bij een goedaardige tumor. De cellen hebben een afwijkende vorm en kunnen niet goed functioneren. Ook verstoren ze de bouw van de weefsels en worden er bloedvaten aangelegd naar de tumor om deze te voorzien van zuurstof en voedingsstoffen (zie afbeelding 40). Het eerste gezwel dat bij kanker ontstaat, heet een primaire tumor. Wanneer cellen van de primaire tumor loslaten, komen ze via het bloed of de lymfe in andere organen terecht. Hier kunnen ze uitgroeien tot secundaire tumoren. De uitzaaiing van tumoren naar andere lichaamsdelen heet **metastase**.

▶ **Afb. 40** Het ontstaan van kanker.



1 Bij één cel zijn mutaties opgetreden, waardoor de cel een tumorcel wordt.

2 De tumorcel deelt zich ongeremd.

3 Er is een primaire tumor ontstaan, waar bloedvaten naartoe zijn gegroeid.

4 Er vindt metastase plaats.

opdrachten

29 a Het is belangrijk om een tumor in een vroeg stadium op te sporen. Leg dat uit.

b Waarom komt kanker meer voor bij oudere mensen dan bij jongere mensen?

c Een primaire tumor kan operatief worden verwijderd. Ook kan er radiotherapie worden toegepast, waarbij de tumorcellen door bestraling worden gedood. Wanneer er sprake is van metastase wordt na een operatie vaak nog chemotherapie toegepast. Er worden dan stoffen (cytostatica) aan de patiënt gegeven die de celdeling remmen.
Leg uit waardoor een operatie bij kanker gewoonlijk geen genezing brengt als er metastase is opgetreden.

d Welke therapie wordt het vaakst toegepast wanneer er bij een patiënt al metastase is opgetreden: radiotherapie of chemotherapie? Leg je antwoord uit.

e Er worden medicijnen ontwikkeld om de groei van bloedvaatjes naar een tumor tegen te gaan.
Wat is het effect van deze medicijnen op de ontwikkeling van de tumor?

f Welke schadelijke invloed hebben cytostatica op je lichaam?

30 Bij geringe celschade komt bij eukaryoten het tumorsuppressorgen p53 tot expressie. Het p53-eiwit dat daardoor wordt gemaakt, regelt de transcriptie en translatie van het p21-gen. Dit gen is verantwoordelijk voor de aanmaak van het p21-eiwit dat een binding aangaat met een eiwit dat normaal gesproken aanzet tot mitose. Dit eiwit wordt daardoor inactief. Hierdoor stopt de celdeling (G1-fase van de celcyclus) zodat het DNA eerst kan worden hersteld. Wanneer de schade te groot is, zet het p53-eiwit de cel aan tot celdood.

a Het p53-gen bevat de code voor een eiwit dat het p21-gen tot expressie brengt.
Hoe noem je een gen waarvan het eiwit een ander gen aanzet tot expressie?

b Normaal gesproken veroorzaakt een mutatie in een proto-oncogen geen kanker.
Leg dit uit en geef aan welke rol het p53-eiwit hierbij heeft.

c Het blijkt dat bij 80% van alle vormen van kanker een mutatie in het p53-gen voorkomt. Het p53-eiwit wordt daarom het meest in verband gebracht met tumorvorming.
Hoe kan een mutatie in het p53-gen leiden tot tumorvorming?

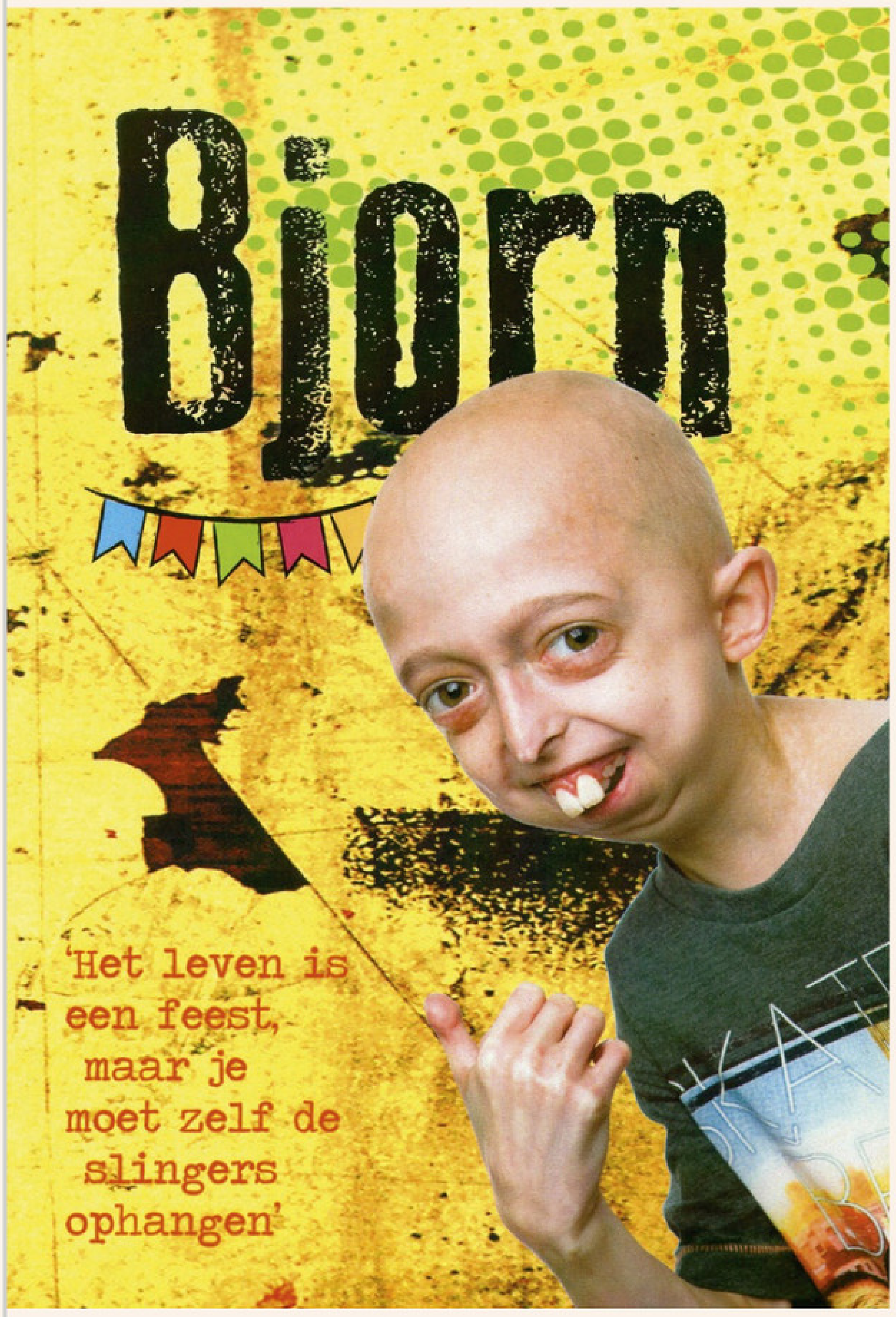
d Door mutatie wordt een p53-eiwit gesynthetiseerd dat zich verkeerd vouwt en daardoor zijn werk niet kan doen. Wetenschappers hebben een stof gevonden die ervoor zorgt dat het eiwit weer de juiste vorm aanneemt. Ze hopen hiermee een nieuwe therapie tegen kanker te kunnen ontwikkelen.
Waarop is deze therapie gebaseerd?

e Baarmoederhalskanker is een van de weinige vormen van kanker die bijna altijd wordt veroorzaakt door een virus. Dit virus heet het humaan papillomavirus (HPV). Dit virus beïnvloedt vooral de tumorsuppressorgenen p53 en pRb. Beide genen kunnen de celdeling onderdrukken.
Vrouwen die roken, hebben een grotere kans om baarmoederhalskanker te ontwikkelen dan vrouwen die niet roken. Leg dat uit.

CONTEXT Leefwereld

Progeria

▼ **Afb. 41** Bjorn.



Het leven is een feest, maar je moet zelf de slingers ophangen is een boek van Bjorn Nabuurs en Sjaak van Moorsel. Het boek gaat over Bjorn. Bjorn (2002) is een optimistische jongen die alles wil meemaken in het leven en het uiterste wil bereiken. Bjorn heeft de zeldzame verouderingsziekte progeria. Doordat hij weet dat zijn leven waarschijnlijk korter is dan het leven van zijn leeftijdgenoten, wil hij er alles uit halen.
De klassieke vorm van progeria wordt veroorzaakt door een puntmutatie in het LMNA-gen in een van de homologe chromosomen van paar 1. Normaal codeert het LMNA-gen voor het eiwit prelamine A dat zorgt voor een netwerk van draden die stevigheid geven aan het celkernmembraan en nodig zijn bij de celdeling. Het kortere, afwijkende eiwit dat bij progeria ontstaat, heet progerin. Door dit eiwit is het kernmembraan minder stevig en heeft het niet zijn normale vorm.
Elk kalenderjaar wordt Bjorn ongeveer acht tot tien levensjaren ouder. Hij heeft verouderingssymptomen die normaal gesproken alleen voorkomen bij ouderen. Kinderen met progeria worden gemiddeld 13 jaar oud. Doordat ze bijvoorbeeld slechte bloedvaten hebben, kunnen ze al vroeg een hartinfarct of een beroerte krijgen. Ze hebben een normale intelligentie en er treedt geen dementie op.

opdracht

31 Alle cellen van een kind met klassieke progeria bevatten het gemuteerde allel.

- **a** Op welk moment zal de mutatie die bij een kind klassieke progeria veroorzaakt, waarschijnlijk zijn ontstaan?
- **b** Klassieke progeria wordt veroorzaakt door een puntmutatie. Is deze mutatie dominant of recessief? Leg je antwoord uit.
- **c** Het afwijkende eiwit dat bij klassieke progeria ontstaat, is korter. Leg uit waarom het afwijkende eiwit door de puntmutatie korter is.
- **d** Waardoor wordt klassieke progeria niet doorgegeven aan nakomelingen?
- **e** Bjorn heeft een niet-klassieke vorm van progeria. Hij heeft een autosomaal recessief erfelijke vorm. Bij Bjorn functioneert prelamine A slecht. Het proces van veroudering gaat minder snel dan bij klassieke progeria. Leg uit op welke manier de niet-klassieke vorm van progeria bij Bjorn is veroorzaakt.

Leerdoel

– Je kunt verschillende technieken en toepassingen van biotechnologie beschrijven.

6 Biotechnologie

Wetenschappers kunnen de eigenschappen van organismen aanpassen door het DNA rechtstreeks te veranderen. Door bijvoorbeeld een bepaald deel van het DNA bij muizen te vervangen door slangen-DNA, ontwikkelen muizen geen poten meer.

Mensen gebruiken organismen

Biotechnologie is een verzamelnaam voor technieken waarbij organismen worden gebruikt om producten te maken voor de mens. Sommige technieken worden al eeuwenlang gebruikt. Zo wordt voor de productie van wijn, bier en brood gist gebruikt. Bij de productie van kaas worden enzymen (chymosine) uit de lebmaag van pasgeboren kalveren gebruikt. Melkzuurbacteriën spelen een rol bij de productie van zuurkool en yoghurt.
In de landbouw vindt al eeuwen kunstmatige selectie plaats en worden veredelde planten geteeld en dieren gefokt die voldoen aan de behoeften van de mens.

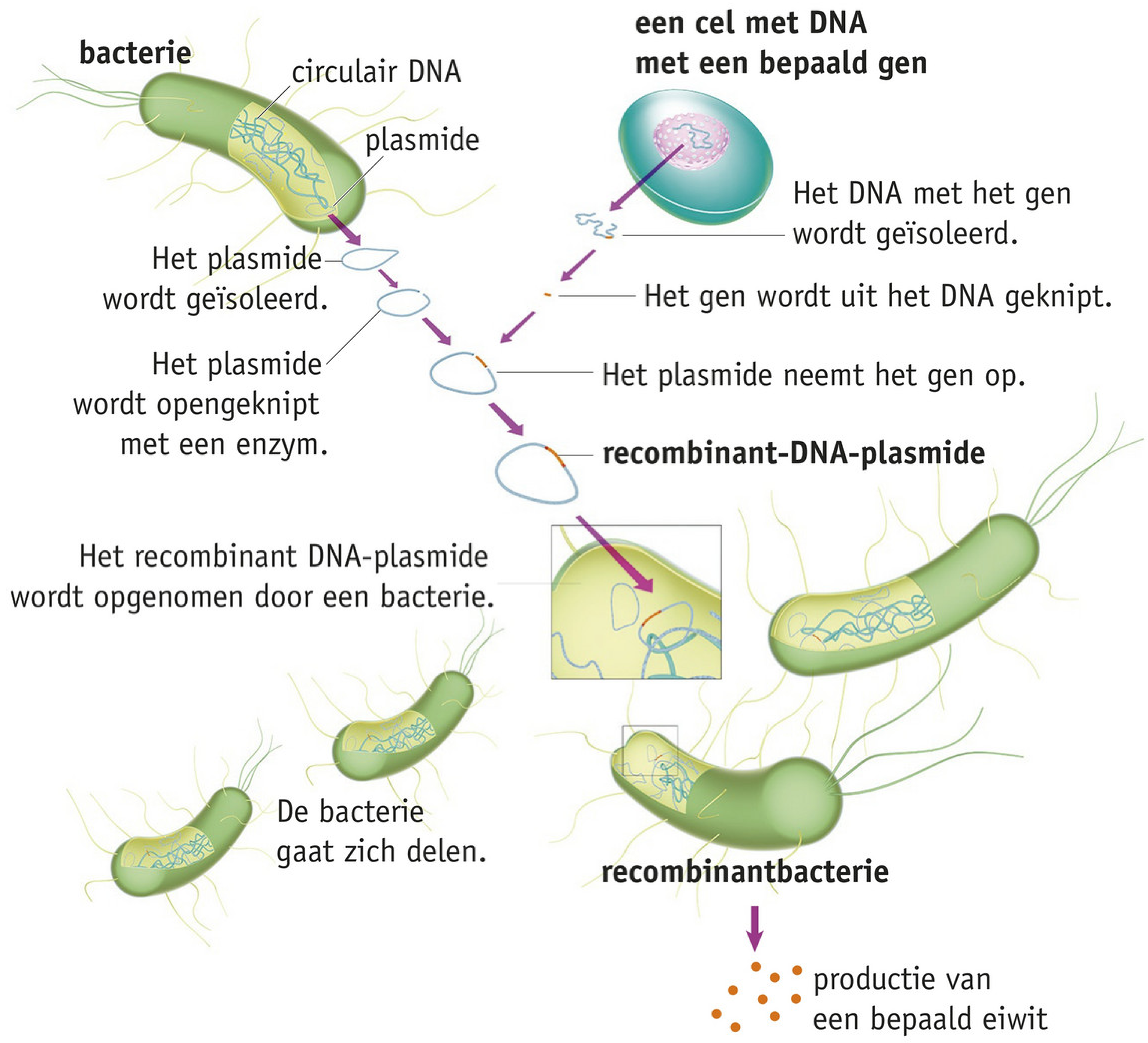
Genetische modificatie

Onderzoekers weten door de toegenomen kennis over DNA van steeds meer genen hoe ze functioneren en voor welke eigenschappen ze verantwoordelijk zijn. Met deze kennis kunnen de eigenschappen van bacteriën, schimmels, planten en dieren worden gewijzigd. Dit heet **genetische modificatie**. Een gen van een bepaald organisme kan worden overgebracht naar het DNA van een ander organisme. Organismen waarbij het DNA is veranderd, noem je **transgeen** of **ggo** (genetisch gemodificeerd organisme). Zo kunnen transgene bacteriën worden gebruikt bij het opruimen van radioactief afval. Ingebouwde genen zorgen ervoor dat kwik uit radioactieve verbindingen wordt omgezet in een niet-giftige kwikverbinding.

Recombinant-DNA-techniek

Een voorbeeld van genetische modificatie is de **recombinant-DNA-techniek**.
Bij deze techniek wordt de nucleotidevolgorde van het DNA in een organisme gewijzigd door DNA in te brengen dat afkomstig is van een ander individu. De betrokken organismen hoeven hiervoor niet tot dezelfde soort te behoren.
De recombinant-DNA-techniek werd mogelijk door de ontdekking van speciale enzymen die een DNA-fragment uit DNA kunnen knippen. Onder invloed van een ander enzym binden verschillende DNA-fragmenten aan elkaar. Zo kan bijvoorbeeld recombinant-DNA ontstaan van een stukje DNA van een mens en DNA van een bacterie.
Er bestaan verschillende technieken om recombinant-DNA in te brengen in het DNA van organismen. Vaak wordt gebruikgemaakt van plasmiden. Geïsoleerde plasmiden uit bacteriën worden opengeknipt met een enzym. DNA-fragmenten (genen) die van andere organismen afkomstig zijn, kunnen door deze plasmiden worden opgenomen. Vervolgens kunnen de gemodificeerde plasmiden door bacteriën worden opgenomen (zie afbeelding 42). Niet alle plasmiden zullen het DNA-fragment opnemen. Ook neemt maar een deel van de bacteriën een gemodificeerd plasmide op. Wanneer deze bacteriën gaan delen, ontstaan nakomelingen met het recombinant-DNA-plasmide. Deze bacteriën kunnen een bepaald eiwit produceren dat kan worden gebruikt voor specifieke doeleinden.

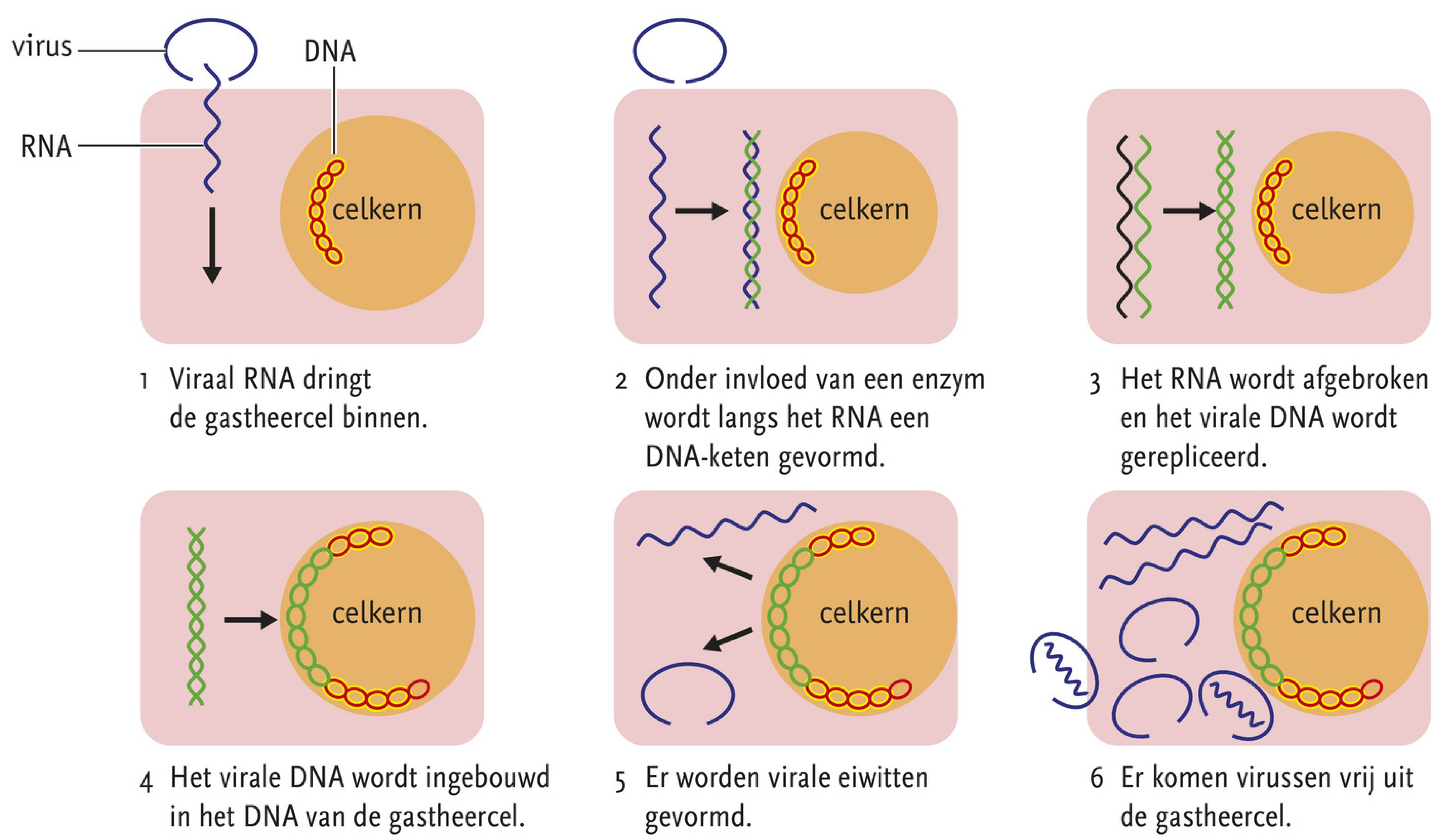
▶ **Afb. 42** Recombinant-DNA-techniek.



GENETISCHE MODIFICATIE MET VIRUSSEN

Virussen gebruiken specifieke gastheercellen voor hun voortplanting. Wanneer een virus de cellen van een ander organisme (de gastheer) binnendringt, komt hun DNA of RNA in het cytoplasma. Je spreekt dan van een virusinfectie. Het DNA wordt naar de celkern getransporteerd en ingebouwd in het DNA van de gastheercel. RNA kan niet worden ingebouwd in het DNA van de gastheercel. Een RNA-virus bevat daarom een enzym dat een DNA-keten vormt langs het binnengedrongen RNA-molecuul. De RNA-keten wordt hierna afgebroken en vervolgens wordt met behulp van DNA-polymerase een complete dubbelstrengs DNA-keten gevormd. Dit fragment kan worden ingebouwd in het DNA van de gastheercel (zie afbeelding 43).

▼ **Afb. 43** Het verloop van een infectie door een virus.



Voor het vormen van nieuwe virussen wordt het RNA-molecuul gebruikt dat langs het ingebouwde DNA-fragment ontstaat. De ribosomen vormen virale eiwitten met de informatie in dit RNA. Wanneer de gastheercel vol zit met virussen, barst deze open waardoor de virussen vrijkomen.
Ook virussen kunnen worden gebruikt om genen in te bouwen in een ander organisme. Met behulp van het enzym uit virussen, dat een DNA-keten kan vormen langs RNA, is het mogelijk een gen te isoleren uit het genoom van een eukaryoot organisme. In plaats van een bepaald gen met een gunstige eigenschap uit het DNA van een organisme te isoleren, kun je met dit enzym ook een kopie maken van het RNA. Eerst wordt het RNA geïsoleerd uit cellen die veel van het gewenste eiwit maken. Met behulp van het virusenzym kan dan langs een RNA-keten een enkelstrengs DNA-keten worden gevormd. Hiervan wordt daarna een dubbele DNA-keten gemaakt met behulp van het enzym DNA-polymerase. Het DNA dat is ontstaan, heet **copyDNA** (**cDNA**) en bevat alleen het gewenste gen. cDNA kan in een plasmide van een bacterie of in een virus worden ingebracht.

opdrachten

32 In de geneeskunde, de industrie, de landbouw en de voedingsmiddelenindustrie wordt genetische modificatie veelvuldig toegepast, maar het wordt ook gebruikt voor wetenschappelijk onderzoek.

a Zoek op internet vijf voorbeelden van genetische modificatie waardoor transgene micro-organismen stoffen kunnen produceren voor mensen.

b Geef van de voorbeelden die je hebt gevonden aan of je het resultaat van de genetische modificatie zinvol vindt of niet. Leg uit waarom.

33 Gloeivissen (zie afbeelding 44) zijn genetisch gemodificeerde zebravissen die in hun DNA een gen hebben dat afkomstig is van kwallen. Hierdoor maken zij een fluorescerend eiwit dat er bij wit of ultraviolet licht voor zorgt dat de vis oplicht in een bepaalde kleur.
Welke eigenschap van DNA zorgt ervoor dat het DNA tussen kwallen en zebravissen kan worden uitgewisseld?



▶ **Afb. 44** Gloeivissen.

34 Genetische modificatie kan ervoor zorgen dat landbouwgewassen beter kunnen groeien in een droog milieu.

a Leg uit hoe dit mogelijk is.

b Door genetische modificatie kunnen landbouwgewassen resistent worden voor bepaalde ziekten.
Wat is het voordeel hiervan?

c De effecten van genetische modificatie bij landbouwgewassen zijn nog niet duidelijk en daarom wordt er veel onderzoek naar gedaan. Milieuorganisaties vinden dat genetisch gemodificeerde gewassen niet in de natuur terecht mogen komen.
Vanwege welk risico vinden milieuorganisaties dat ggo's niet in de natuur terecht mogen komen?

▼ **Afb. 45** Bananenblad dat is aangetast door de zwarte sigatokaschimmel.



d Wereldwijd wordt vooral het bananenras Cavendish verbouwd. Dit ras is niet resistent voor de zwarte sigatokaschimmel. Op dit moment is gif spuiten de enige manier om de zwarte sigatokaziekte onder controle te houden (zie afbeelding 45). Dat moet zo'n vijftig tot zeventig keer per jaar gebeuren. Dat is ongeveer één keer per week.
Waarom is genetische modificatie om deze bananen resistent te maken, een goed alternatief?

35 Virussen kunnen ziekten veroorzaken door hun DNA of RNA in cellen van een gastheer in te brengen. Het DNA van een virus kan direct worden ingebouwd in het DNA van een gastheercel.
Beschrijf hoe een infectie met RNA kan leiden tot ziekten. Gebruik hierbij de begrippen: *DNA-polymerase – dubbelstrengs DNA – ribosomen – virusdelen*.

CONTEXT Wetenschap

Een designerbaby met CRISPR

Tot voor kort was het bewerken van DNA een moeilijk en duur proces met weinig nauwkeurigheid. Dat is veranderd met de ontwikkeling van een nieuwe techniek van genetische modificatie: CRISPR. CRISPR is een afweersysteem in prokaryoten dat DNA van bacteriofagen tot in detail herkent en vervolgens kapotknipt. Een eiwit dat in DNA kan knippen, gebruikt RNA als gids en gaat op zoek naar het DNA van het virus. Wetenschappers ontdekten dat CRISPR ook werkt in cellen van dieren en planten. Door het gids-RNA aan te passen, kun je elke willekeurige volgorde van het DNA opsporen waarna het eiwit er vervolgens in kan knippen. Daarna kun je ermee doen wat je wilt: het DNA door de cel laten repareren, extra DNA toevoegen, een stukje DNA veranderen of er juist een deel uitknippen.
CRISPR zou de mensheid voor altijd kunnen veranderen. Wetenschappers willen eerst dat de wereldburgers bepalen wat de grenzen zijn.

▼ **Afb. 46** Een designerbaby?



opdracht

36 Met CRISPR kun je snel, goedkoop en nauwkeurig een gen uitschakelen.

a Wat zou voor een wetenschapper het doel kunnen zijn van het uitschakelen van een gen?

b Hemofilie (bloederziekte) is een erfelijke ziekte waarbij bloedingen in spieren en gewrichten optreden door een tekort aan stollingsfactoren. Met CRISPR kan deze ziekte bij een patiënt in de toekomst worden genezen. Leg uit dat de verandering in de genen door CRISPR niet wordt doorgegeven aan de nakomelingen van de patiënt.

c Er zijn mensen die het onethisch vinden als genetische modificatie niet wordt toegepast in situaties waarin dit voordelen kan opleveren voor mensen. Bijvoorbeeld omdat genetische modifcatie kinderen een leven kan bieden met meer kansen, zieke mensen kan genezen en pijn kan voorkomen.
Neem alle aanpassingen die worden genoemd in afbeelding 46 over en noteer of je de aanpassing ethisch verantwoord vindt of niet. Leg uit waarom je dit vindt.

Je hebt nu de basisstof van dit thema doorgewerkt.

- Controleer met het uitwerkingenboek of je de basisstofopdrachten goed hebt uitgevoerd.
- Je kunt nu verdergaan met de digitale oefentoets. Je kunt de samenvatting en flitskaarten gebruiken om je hierop voor te bereiden.
- Na de digitale oefentoets kun je de paragraaf Samenhang, de examentrainer en de verrijkingsstof doen.

Leerdoelen

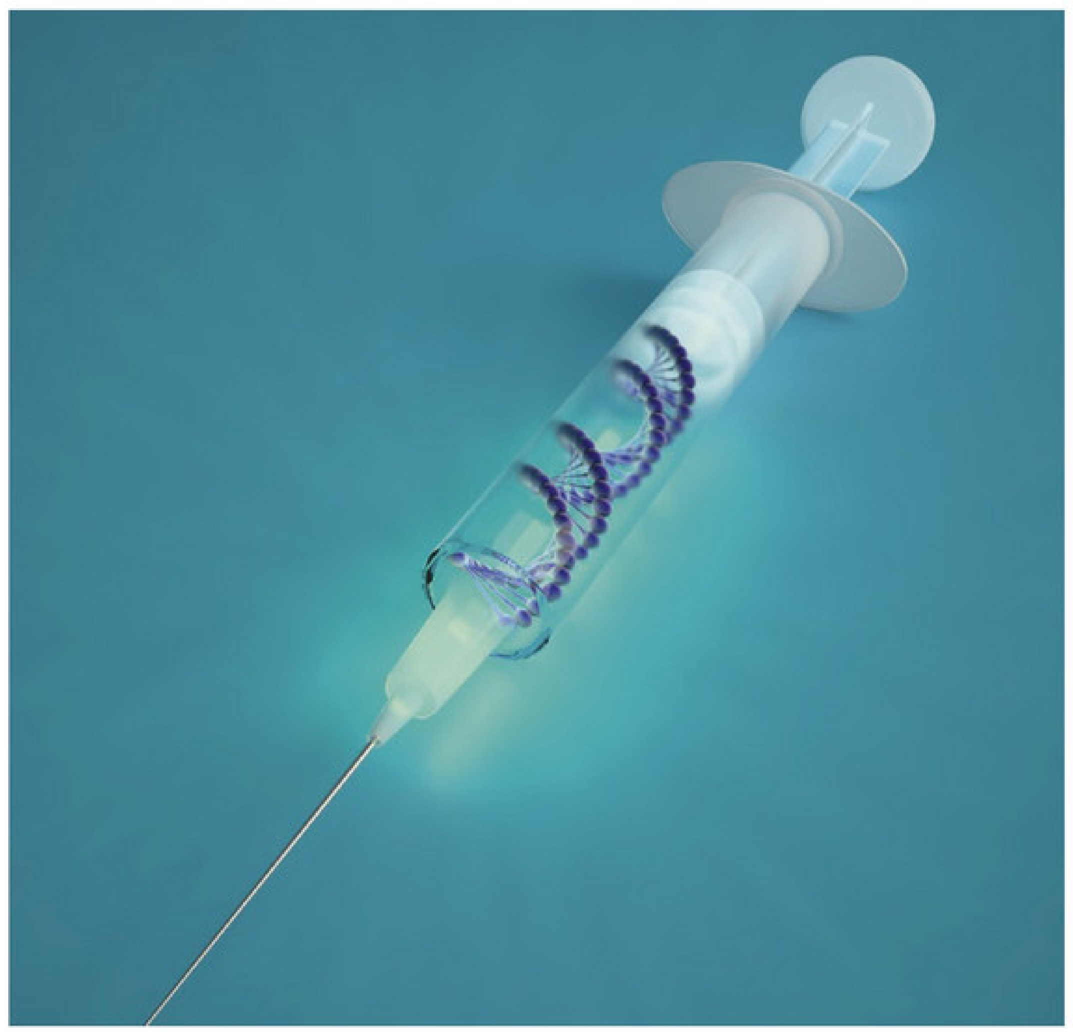
- Je kunt het effect van gendoping toelichten voor verschillende organisatieniveaus van de biologie.
- Je kunt de biologische vakvaardigheid vorm-functiedenken toepassen op de genetische modificatie van eukaryoten.

Gendoping

Zonder training je spiermassa met 15% laten toenemen door toediening van slechts één gen: de Amerikaanse onderzoeker Sweeney kreeg dat in 1998 voor elkaar. Bij muizen.

Bij muizen met een erfelijke ziekte die tot afbraak van hun spieren leidt, werd het ziekteveroorzakende gen vervangen door een gezond gen. Zo werd de spierafbraak voorkomen en nam hun spiermassa toe. De ontdekking van Sweeney kreeg grote belangstelling van sommige bodybuilders en andere atleten die voor meer spiermassa en betere prestaties graag aan hun DNA willen laten sleutelen met genetische doping.

▼ **Afb. 1** Injectienaald met DNA.



Bij gendoping krijgen sporters, afhankelijk van de sport die zij beoefenen, kopieën van een gen toegediend dat effect heeft op de zuurstofopname, het uithoudingsvermogen of de spierontwikkeling. Het gen hebben ze al in hun DNA, maar door extra kopieën in de cellen van bepaalde organen te spuiten, gaan deze tijdelijk meer van het eiwit maken waarvoor het gen codeert. Het gen kan puur of verpakt in een virus of vetachtige stof in de cellen worden gebracht. Hierdoor maakt het lichaam als het ware zijn eigen doping, bijvoorbeeld een eiwit dat de spiervorming bevordert of het hormoon erytropoëtine (epo) dat de aanmaak van rode bloedcellen bevordert. Het is eenvoudig, goedkoop, effectief en moeilijk op te sporen voor antidopingexperts. Hoewel er nog nooit een sporter op is betrapt, is gendoping illegaal.

Medische wetenschappers ontwikkelden gendoping eigenlijk als een methode om ziekten te genezen (gentherapie) die ontstaan door een mutatie in het DNA. Zij proberen de gemuteerde genen met experimentele technieken te vervangen door gezonde genen.

opdrachten

1 Maak een schema met de verschillende organisatieniveaus en vul de woorden in bij het juiste organisatieniveau. Kies uit: *DNA – eiwit – epo – muizen – rode bloedcel – spieren – sporter*.

Organisatie-niveau	Begrip
Biosfeer	
Ecosysteem	
Populatie	
Organisme	
Orgaan	
Cel	
Molecuul	

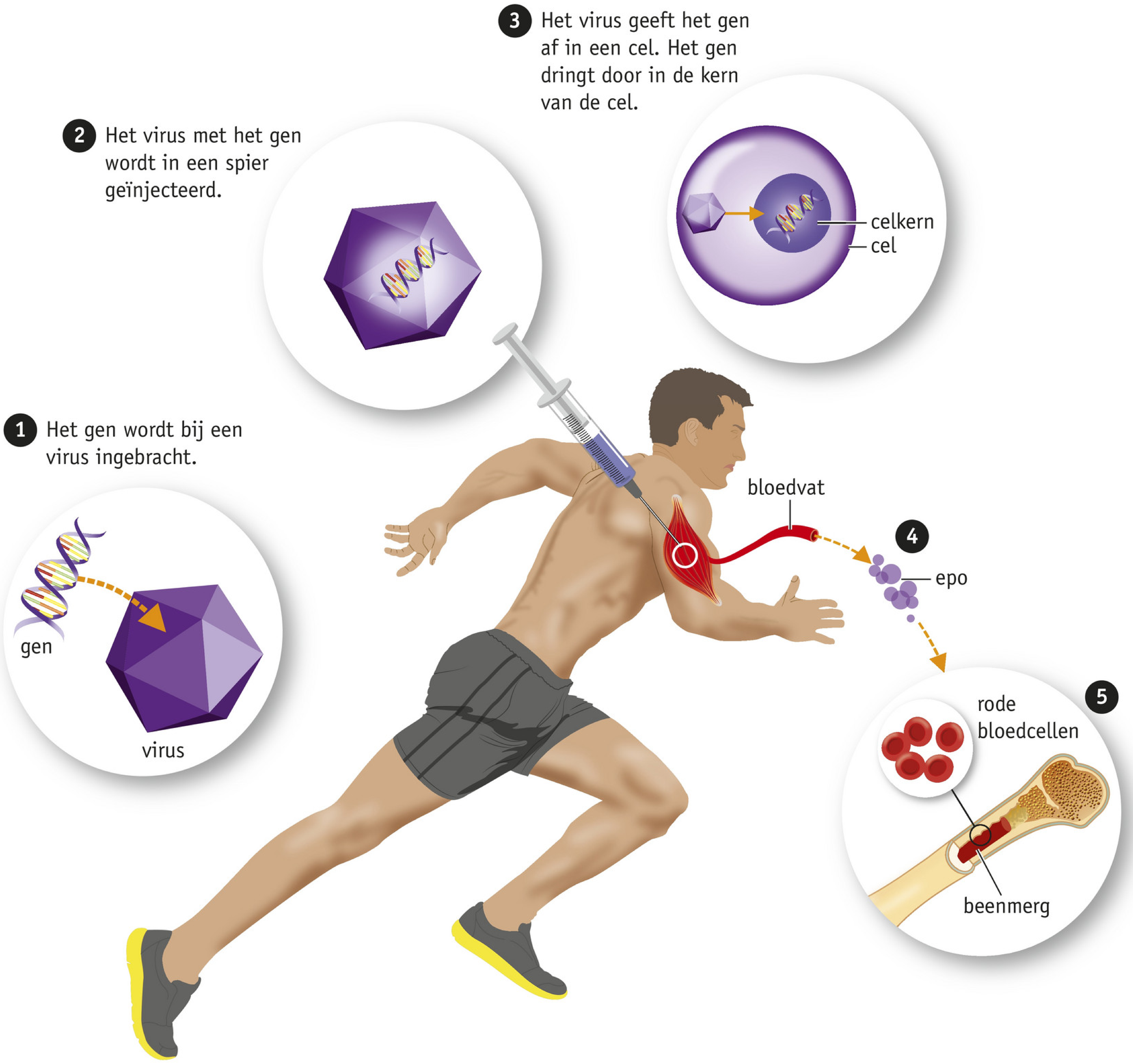
2 Het is moeilijk om sporters op gendoping te betrappen.

a Leg uit waarom dit moeilijk is.

b Een sporter bestelt een product via internet en injecteert het met een injectienaald in de bovenarm (zie afbeelding 2).
Welk gen bevatten de virussen in de injectienaald? Leg je antwoord uit.

c Welke organen in je lichaam produceren zelf epo? Gebruik *Binas*.
d Leg uit waarom de spiercellen in de bovenarm van de sporter normaal gesproken geen epo produceren maar na gendoping wel.
e Het gen dat door virussen in een cel is binnengebracht, kan worden ingebouwd in het kernDNA van de gastheercel.
Wat is het voordeel hiervan?
f Bij gendoping kan ook alleen het pure gen worden geïnjecteerd. Het gen wordt dan niet ingebouwd in het kernDNA en zal na enige weken zijn afgebroken.
Waarom kiezen sporters hier meestal voor?
g Een sporter onderzoekt hoe hij zijn prestaties kan verbeteren. Op internet leest hij dat het eiwit myostatine de spierontwikkeling afremt. Hij wil het gen dat codeert voor myostatine, door gendoping uitzetten.
Leg uit op welke manier dit zorgt voor meer spierontwikkeling en daardoor betere sportprestaties.

▼ **Afb. 2** Gendoping.



Practica

practicumopdracht 1

DNA isoleren uit een tomaat

BASISSTOF 2

MATERIAAL
- een tomaat
- NaCl (keukenzout)
- afwasmiddel
- water
- ijskoud ethanol
- een theelepel
- 2 bekerglazen van 200 mL
- een groot, scherp mes
- een snijplank
- een blender of staafmixer
- een maatbeker
- een pipet van 2 mL
- een reageerbuis
- keukenpapier
- een trechter
- een lang satéstokje
- camera, mobiele telefoon of tablet

Om de sequentie van DNA te kunnen bepalen, isoleer je eerst DNA uit cellen. In deze practicumopdracht onderzoek je hoe je DNA kunt isoleren uit de cellen van een tomaat.

METHODE
- Snijd ongeveer een derde van de tomaat in kleine blokjes en doe die in de maatbeker.
- Maak in een bekerglas een oplossing van:
 - 5 mL afwasmiddel;
 - 1 theelepel zout;
 - 45 mL water.
- Giet deze oplossing bij de tomaatblokjes.
- Mix de inhoud 10 tot 15 seconden.
- Vouw een filter van keukenpapier en plaats deze in de trechter. Filtreer de tomaatoplossing. Hierdoor verwijder je celfragmenten. Vang het filtraat op in het tweede bekerglas. Het filtraat bevat het DNA.
- Pipetteer 0,5 mL filtraat in een reageerbuis.
- Houd de reageerbuis schuin en schenk heel langzaam 1 mL ijskoud ethanol langs de kant.
- Draai de reageerbuis voorzichtig rond. Niet schudden! DNA lost moeilijk op in alcohol en zal daardoor samenklonteren. Het DNA is nu zichtbaar.
- Doop een lang satéstokje in de reageerbuis, met de punt tussen de alcohollaag en het tomaatfiltraat in. Haal het satéstokje weer omhoog. Het rode propje dat je nu omhoogtrekt, is DNA. De rode kleur wordt veroorzaakt door het tomatenpigment dat aan het DNA kleeft.
- Maak een foto van het DNA-propje.

Beantwoord de volgende vragen.

1 Hoe maak je de celwanden van tomatencellen kapot?

2 Zout is onder andere nodig om de vrijgekomen eiwitten te laten samenklonteren. Waarvoor voeg je afwasmiddel toe?

RESULTAAT

Een foto van het DNA-propje.

Samenvatting

LEERDOEL 1 ▶▶ BASISSTOF 1

Je kunt de bouw en functies van DNA beschrijven.

- DNA (desoxyribonucleïnezuur) bevat de informatie voor de erfelijke eigenschappen van een levende cel.
- Genoom: het geheel aan erfelijke informatie in een cel van een organisme.
 - Bij eukaryoten: al het kernDNA en het DNA in celorganellen: DNA in mitochondriën (mtDNA) en DNA in bladgroenkorrels.
 - Bij prokaryoten: al het DNA dat los in het cytoplasma van de cel voorkomt: een circulaire DNA-streng en plasmide(n): kort stukje cirkelvormig DNA.
- DNA is een nucleïnezuur en is opgebouwd uit nucleotiden.
 - Een nucleotide bestaat uit desoxyribose, een fosfaatgroep en een stikstofbase.
 - In DNA komen vier stikstofbasen voor: adenine (A), cytosine (C), guanine (G) en thymine (T).
- Een DNA-molecuul bestaat uit twee nucleotideketens, die in een dubbele spiraal (helix) om elkaar heen gewonden liggen.
 - In een nucleotideketen wisselen monosachariden en fosfaatgroepen elkaar af. De stikstofbasen steken er aan de zijkant uit.
 - De stikstofbasen vormen vaste paren: adenine (A) is altijd verbonden met thymine (T); cytosine (C) is altijd verbonden met guanine (G).
- Bij eukaryoten bestaat een chromosoom uit één lang dubbelstrengs DNA-molecuul dat rond eiwitten is gewikkeld.
- Sequentie: de volgorde waarin nucleotiden in een DNA-molecuul zijn gerangschikt.
- Coderend DNA: een deel van een DNA-molecuul (een gen) dat de code (DNA-sequentie) bevat waarmee ribosomen een of meer eiwitten kunnen synthetiseren.
- Niet-coderend DNA: grote delen van het DNA coderen niet voor eiwitten. Een deel daarvan:
 - codeert voor andere moleculen die een regulerende functie hebben bij de synthese van eiwitten;
 - bestaat uit repetitief DNA: herhalingen van korte nucleotidesequenties;
 - bestaat uit genen die hun functie hebben verloren.

LEERDOEL 2 ▶▶ BASISSTOF 2

Je kunt beschrijven hoe DNA-replicatie plaatsvindt.

- DNA-replicatie vindt plaats in de S-fase van de celcyclus.
 - DNA-replicatie begint met het verbreken van de verbindingen tussen de basenparen.
 - DNA-polymerase verbindt vrije nucleotiden aan de vrijgekomen stikstofbasen van een enkelvoudige nucleotideketen.
 - Aan elke originele nucleotideketen ontstaat een nieuwe nucleotideketen.
 - Na DNA-replicatie bestaat een chromosoom uit twee chromatiden die vastzitten met een centromeer.
- Telomeren: niet-coderend, repetitief DNA aan de uiteinden van een DNA-molecuul dat is ingekapseld in beschermende eiwitten en moet voorkomen dat de genen in het DNA worden beschadigd; bij elke celdeling wordt een telomeer korter.
 - Bij de mens kan een cel zich na ongeveer vijftig celdelingen niet meer delen en ondergaat dan celdood.
 - De levensduur van de cellen van een organisme hangt af van de lengte van de telomeren en de snelheid waarmee ze korter worden.

LEERDOEL 3 ▶▶ BASISSTOF 2

Je kunt uitleggen hoe met gegevens die zijn verkregen door DNA-analyse de graad van verwantschap van soorten kan worden vastgesteld.

- Sequensen: het bepalen van de nucleotidevolgorde van DNA.
 - De variatie in de DNA-sequenties bij organismen van één soort kan o.a. informatie geven over afkomst en het risico op bepaalde lichamelijke of geestelijke ziekten.
 - Door DNA-sequenties van verschillende soorten te vergelijken, kan de evolutionaire verwantschap van soorten worden bepaald.

LEERDOEL 4 ▶▶ BASISSTOF 3

Je kunt beschrijven hoe de eiwitsynthese plaatsvindt.

- Transcriptie: langs een deel van een nucleotideketen van een DNA-molecuul (een gen) wordt een RNA-molecuul gevormd.
 - Dit gebeurt op plaatsen in het DNA-molecuul waar genen aan staan.
- RNA (ribonucleïnezuur) verschilt van DNA:
 - RNA bestaat uit een enkele streng nucleotiden.
 - RNA bevat ribose in plaats van desoxyribose bij DNA.
 - RNA bevat de stikstofbase uracil (U) in plaats van thymine (T) bij DNA.
 - RNA wordt gevormd langs één keten van een DNA-molecuul.
- Bij eukaryoten verlaat het RNA via de kernporiën de kern en komt zo bij de ribosomen in het cytoplasma.
 - RNA brengt de code van een gen over naar de ribosomen in het cytoplasma.

- Translatie: de vertaling van de nucleotidevolgorde in RNA naar de aminozuurvolgorde van een eiwit door ribosomen volgens de genetische code.
 - Een codon bestaat uit drie opeenvolgende nucleotiden.
 - Er zijn 64 verschillende codons, waaronder één startcodon (AUG): 61 codons coderen voor de aminozuren, 3 codons geven het einde aan van de eiwitsynthese (de stopcodons).
- Er kunnen meerdere ribosomen tegelijkertijd een RNA-molecuul aflezen.
- Eiwitten die in ribosomen zijn ontstaan, worden verder bewerkt.
 - De functie van eiwitten wordt bepaald door de aminozuurvolgorde en door de ruimtelijke structuur.
 - Bewerking kan in het cytoplasma, het endoplasmatisch reticulum of het golgisysteem plaatsvinden.
 - Sommige eiwitten worden pas functioneel als ze buiten de cel zijn afgescheiden.
- Erfelijke eigenschappen komen tot uiting in het fenotype door de aanwezigheid van bepaalde eiwitten.

LEERDOEL 5 BASISSTOF 4

Je kunt verschillende manieren van genregulatie beschrijven bij prokaryoten

- Genregulatie is het aan- of uitzetten van een gen.
- Genexpressie: wanneer een gen aan staat, kan door transcriptie RNA ontstaan en door translatie een eiwit.
- Gedeelten van DNA hebben verschillende functies:
 - Regulatorgenen: zorgen bij prokaryoten voor de synthese van repressors. Zij kunnen een gen aan- of uitzetten.
 - Structuurgenen: genen in prokaryoten die de informatie bevatten voor het vormen van een eiwit.

LEERDOEL 6 BASISSTOF 4

Je kunt verschillende manieren van genregulatie beschrijven bij eukaryoten.

- Stamcellen: deze zijn nog niet (volledig) gespecialiseerd en kunnen zich onbeperkt delen.
 - Embryonale stamcellen differentiëren tot elk celtype.
 - Adulte (volwassen) stamcellen differentiëren tot een beperkt aantal celtypen (bijv. bloedstamcellen).
- Genregulatie tijdens de embryonale ontwikkeling bij eukaryoten:
 - De plaats van een stamcel in een embryo bepaalt welke regulatorgenen aan staan.
 - Regulatorgenen coderen in eukaryoten voor eiwitten die andere genen aan of uit kunnen zetten.
 - Door genregulatie ontstaan verschillende gespecialiseerde cellen, weefsels en organen in een meercellig organisme.
- Genregulatie bij volwassen eukaryoten vindt plaats doordat repressors de transcriptie blokkeren door te binden aan het DNA.

LEERDOEL 7 BASISSTOF 4

Je kunt beschrijven wat het belang is van genexpressie voor zelfregulatie en zelforganisatie van een organisme.

- Epigenetica is de wetenschap die zich bezighoudt met het bestuderen van omkeerbare veranderingen in de activiteit van genen, die niet het gevolg zijn van veranderingen in de nucleotidevolgorde van het DNA.
 - Doordat eiwitten DNA steviger binden of door DNA-methylering wordt de genexpressie geblokkeerd. Het gen staat uit.
 - Epigenetische factoren: invloeden die de werking van genen beïnvloeden.
 - Bij DNA-replicatie kunnen epigenetisch verworven eigenschappen worden doorgegeven aan de dochtercellen en bij voortplanting aan het nageslacht.
- Door genregulatie en genexpressie kunnen cellen verschillende eiwitten produceren op het moment dat de cel ze nodig heeft, afhankelijk van de functie van de cel en van de omstandigheden.

LEERDOEL 8 BASISSTOF 5

Je kunt de verschillende typen en uitwerkingen van mutaties beschrijven.

- Mutatie: een verandering in de nucleotidevolgorde van het DNA van een cel.
- Puntmutatie: het DNA is op één plaats veranderd.
 - In het DNA kunnen een of meer stikstofbasen zijn toegevoegd, verwijderd of vervangen door andere stikstofbasen.
- Genoommutatie: het aantal chromosomen in een cel is veranderd.
 - Doordat bij meiose I de chromosomen van een paar bij elkaar blijven of doordat bij meiose II de chromatiden van een chromosoom bij elkaar blijven.
 - Een van de dochtercellen heeft één chromosoom te veel (bijv. bij het syndroom van Down) en de andere dochtercel één chromosoom te weinig.
- De frequentie waarmee mutaties plaatsvinden, wordt verhoogd door mutagene invloeden: mutagene straling (bijv. radioactieve straling), mutagene stoffen (bijv. stoffen in sigarettenrook) en virussen.
- Het aantal mutaties in een cel blijft beperkt door de enzymen in een celkern die continu beschadigingen in het DNA opsporen en repareren.

 – De celcyclus wordt stilgelegd totdat repareerende enzymen hun werk hebben voltooid.
 – Het tumorsuppressorgen produceert eiwitten die de celcyclus stilleggen of ervoor zorgen dat een cel met onherstelbare DNA-schade overgaat tot celdood.
- Mutaties kunnen neutraal, positief of negatief zijn voor het organisme.
 – De gevolgen van recessieve mutaties of mutaties in één chromosoom van een paar zijn vaak niet merkbaar.
 – Genen waarin een mutatie plaatsvindt, staan vaak uit.
 – Mutaties kunnen een grote uitwerking hebben als ze optreden tijdens het ontstaan van geslachtscellen, in een bevruchte eicel of in cellen van een embryo.
 – Mutaties vergroten de overlevingskans van een populatie.
- Mutaties in een tumorsuppressorgen en in een proto-oncogen kunnen leiden tot kanker.
 – Proto-oncogenen coderen voor eiwitten die de celgroei en de celdifferentiatie stimuleren.
 – Door een mutatie kan een proto-oncogen veranderen in een oncogen waardoor de cel abnormaal snel groeit en deelt. Wanneer een tumorsuppressorgen er niet voor zorgt dat de cel overgaat tot celdood, kan een gezwel (tumor) ontstaan.
- Metastase (uitzaaiing): cellen van de primaire tumor laten los en komen in het bloed of de lymfe terecht.

LEERDOEL 9 ▸▸ BASISSTOF 6

Je kunt verschillende technieken en toepassingen van biotechnologie beschrijven.

- Biotechnologie: een verzamelnaam voor technieken waarbij organismen worden gebruikt om producten te maken voor de mens.
- Genetische modificatie is het veranderen van het DNA van een organisme.
 – Genetisch gemodificeerde organismen worden transgeen of ggo (genetisch gemodificeerd organisme) genoemd.
- Recombinant-DNA-techniek is het DNA wijzigen door DNA in te brengen dat afkomstig is van een ander organisme.
 – De organismen hoeven niet tot dezelfde soort te behoren.
 – Met speciale enzymen wordt een DNA-fragment met bepaalde informatie uit een DNA-molecuul geknipt. Onder invloed van andere enzymen verbinden verschillende DNA-fragmenten zich met elkaar.
 – Bacteriën kunnen een recombinant-DNA-plasmide opnemen en zo delen en eiwitten produceren voor specifieke doeleinden.
- Een virus bezit één molecuul DNA of RNA. Na infectie van specifieke gastheercellen laten ze hun DNA of RNA achter.
 – DNA wordt naar de celkern getransporteerd en ingebouwd in het DNA van de gastheercel.
 – Een RNA-virus bevat een enzym dat een DNA-keten vormt langs een RNA-streng. De RNA-keten wordt afgebroken en DNA-polymerase vormt dubbelstrengs DNA dat wordt ingebouwd in het DNA van de gastheer in de celkern.
 – Langs het virale DNA ontstaat RNA dat codeert voor eiwitten waarmee nieuwe virussen worden gevormd.
 – Nieuwe virussen komen vrij doordat de gastheercel openbarst.
- CopyDNA (cDNA):
 – Een bepaald enzym vormt enkelstrengs DNA langs RNA-moleculen die zijn geïsoleerd uit cellen die veel van een gewenst eiwit maken. Met DNA-polymerase wordt een dubbele DNA-keten gevormd. Dit cDNA kan worden ingebracht in een plasmide of virus.

COMPETENTIES/VAARDIGHEDEN

Je hebt de volgende vaardigheden geoefend:
- doelgericht zoeken, beoordelen, selecteren en verwerken van informatie;
- schriftelijk en mondeling communiceren over natuurwetenschappelijke onderwerpen;
- analyseren welke rol DNA-onderzoek en biotechnologie hebben in natuurwetenschappelijk onderzoek, beroepen en de dagelijkse praktijk;
- toepassen van verschillende fasen van natuurwetenschappelijk onderzoek;
- geven van een beargumenteerde mening;
- gebruiken van biologische en ethische argumenten;
- verklaren hoe genregulatie en genexpressie op verschillende organisatieniveaus invloed hebben (systeemdenken).

Examentrainer

CSI IN HET MENSELIJK LICHAAM

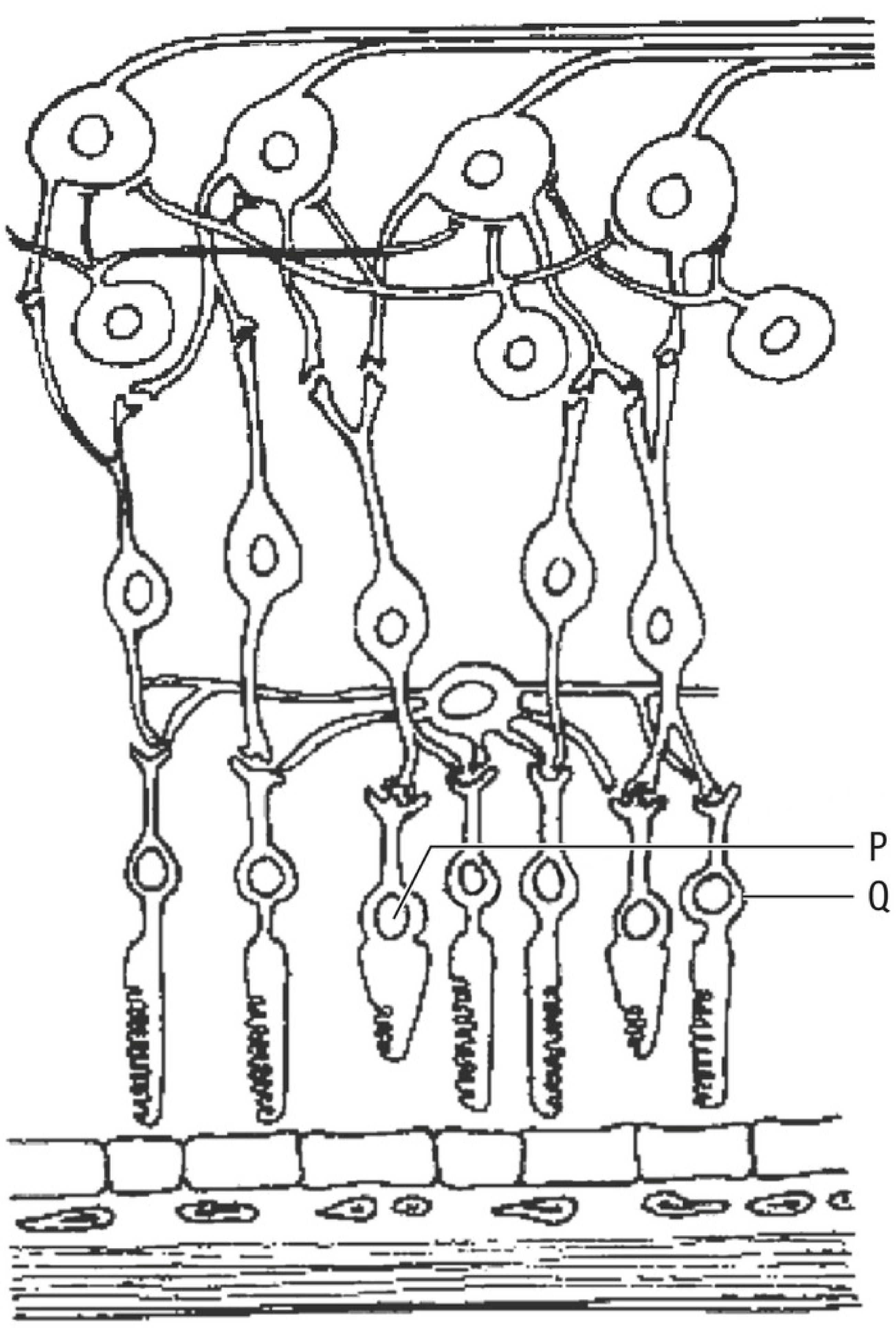
Bron: pilotexamen havo 2014-2, vraag 6, 7, 9 en 10.

Televisieseries zoals CSI en NCIS hebben het beroep van moleculair analist op een positieve manier onder de aandacht gebracht. Door onderzoek van onder andere bloedsporen en gevonden haren wordt in elke aflevering de dader geïdentificeerd.
Het werk op laboratoria voor wetenschappelijk onderzoek is eigenlijk net zo spannend. Ook hier wordt vaak jacht gemaakt op aanranders en serial killers. Bij wijze van spreken dan, want het gaat hier niet om personen maar om genen die erfelijke aandoeningen veroorzaken, niet zelden met dodelijke afloop.

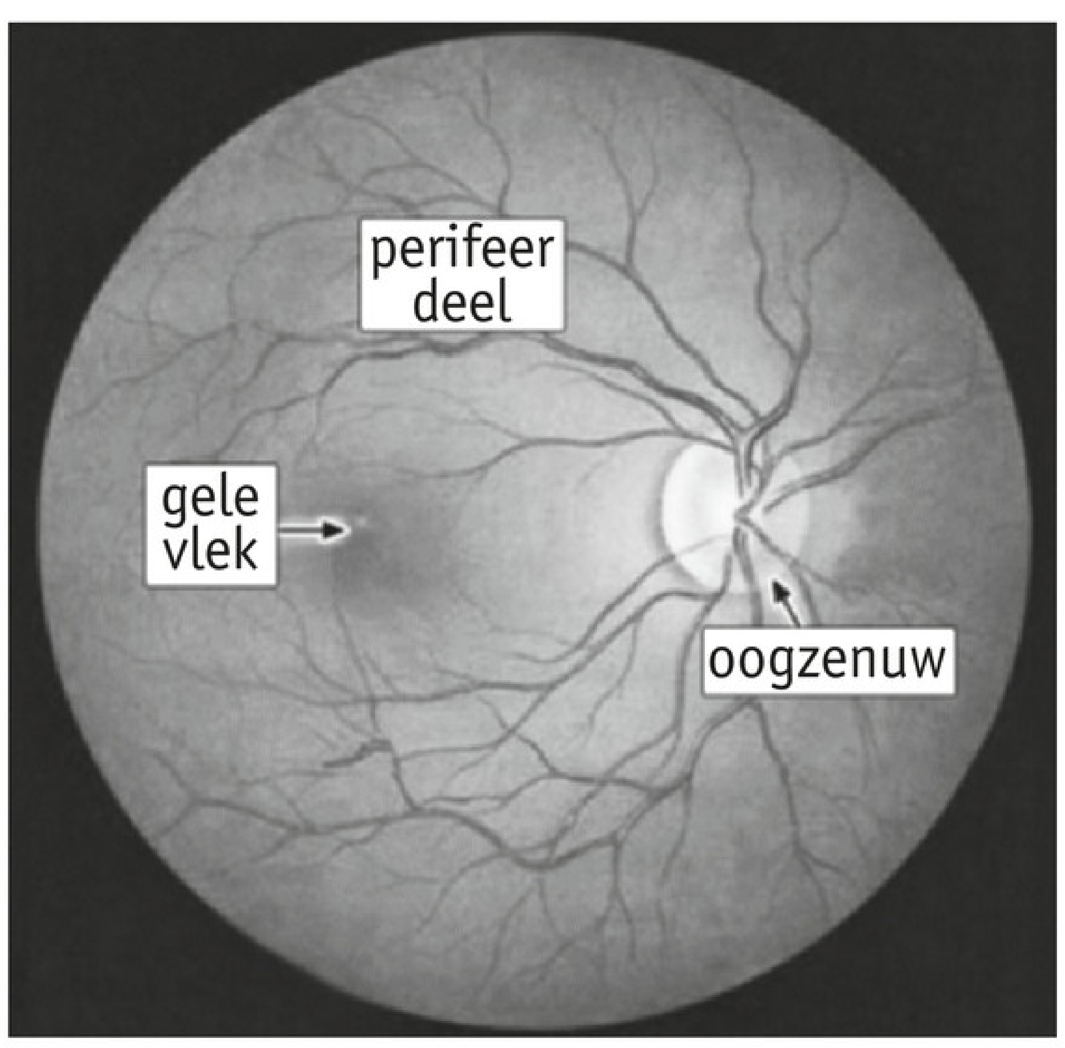
Bij deze speurtocht worden de volgende zaken onderzocht:

- *Locatie van de misdaad*
 Waar in het lichaam gaat er iets fout?
- *Sporenonderzoek op de plek van de misdaad*
 Welke cellen of celonderdelen zijn aangetast?
- *Verdachten opsporen*
 Welke genen kunnen de oorzaak zijn?
- *Achtergrond van de dader onderzoeken*
 Welke mutatie in het gen leidt tot de aandoening?

▼ **Afb. 1** Dwarsdoorsnede (schematisch) en vooraanzicht (foto) van het netvlies.



1



2

Bij het AMC in Amsterdam doet men onderzoek naar een belangrijke veroorzaker van erfelijke nachtblindheid. Mensen met nachtblindheid kunnen zeer slecht zien in het schemerduister en hebben ook overdag verminderd zicht.

Locatie van de misdaad
In afbeelding 1 is een schematische dwarsdoorsnede van het netvlies getekend en daarnaast is een foto van het vooraanzicht van het netvlies weergegeven.

In afbeelding 1.2 zijn met pijltjes de gele vlek en de oogzenuw aangegeven. Het perifeer deel is het deel buiten de gele vlek.

2p **1** Welke cellen zullen als eerste worden onderzocht en in welk deel van het netvlies kunnen die worden aangetroffen?

	cellen	*deel netvlies*
A	P	gele vlek
B	P	oogzenuw
C	P	perifeer deel
D	Q	gele vlek
E	Q	oogzenuw
F	Q	perifeer deel

Sporenonderzoek op de plek van de misdaad
Om erachter te komen welke genen als 'verdachten' kunnen worden aangemerkt, worden micro-arraychips gebruikt. Een micro-arraychip bevat kleine stukjes van een groot aantal genen uit het menselijk genoom. Hiermee wordt de activiteit van genen in cellen bepaald.

2p **2** De aanwezigheid van welk nucleïnezuur in de cel geeft informatie over de activiteit van een gen? En welk proces wordt daarmee aangetoond?

	molecuul	*activiteit*
A	DNA	differentiatie
B	DNA	genexpressie
C	RNA	differentiatie
D	RNA	genexpressie

Verdachten opsporen
Uit de resultaten met de micro-arraychip werd geconcludeerd dat het *TRPM1*-gen als 'de verdachte' van erfelijke nachtblindheid kon worden aangemerkt.

Achtergrond van de dader onderzoeken
Om erachter te komen wat dit gen precies doet, wordt met de microscoop onderzocht waar in het netvlies het eiwit te vinden is waarvoor dit *TRPM1*-gen codeert. Hiervoor worden antistoffen gebruikt die aan het eiwit binden. Om aan de antistoffen te komen, wordt het eiwit bij konijnen ingespoten, waarna de antistoffen uit het bloed van de konijnen kunnen worden geïsoleerd. Aan deze antistoffen wordt een lichtgevend stofje gekoppeld. Na behandeling van de microscopische preparaten met deze antistoffen lichten de gebieden in de cellen op waar het eiwit (= genproduct) zich bevindt. Uit het microscopisch onderzoek blijkt dat het eiwit in de celmembranen van de betrokken cellen aanwezig is. De overige cellen in het preparaat lichten niet op.

2p **3** Waarom lichten deze cellen in het preparaat niet op?
- A Omdat daarin geen expressie van het *TRPM1*-gen plaatsvindt.
- B Omdat daarin het *TRPM1*-gen ontbreekt.
- C Omdat ze geen eiwitten bevatten.
- D Omdat ze onbereikbaar zijn voor de antistoffen.

Toen het verdachte gen was geanalyseerd, werd de volgorde van de nucleotiden van het normale *TRPM1*-gen vergeleken met die van het mutantgen van personen met nachtblindheid. Bij een van die personen bleek een puntmutatie in het DNA te leiden tot een verandering in een RNA-codon voor glycine (GGG). Bij een puntmutatie is één stikstofbase door een andere stikstofbase vervangen. Mutatie van een van de drie stikstofbasen in het DNA verandert het genproduct van *TRPM1*.

2p **4** Welke van de drie G's in het codon kan dan veranderd zijn?
- A alleen de eerste G
- B alleen de tweede G
- C alleen de derde G
- D alleen de eerste óf de tweede G
- E alleen de tweede óf de derde G
- F de eerste óf de tweede óf de derde G

BETERE AARDAPPELS DOOR CISGENESE

Bron: examen havo 2016-1, vraag 29, 30 en 31.

De consument wil met zijn voedsel geen bestrijdingsmiddelen binnenkrijgen en de normen van de overheid voor gebruik van bestrijdingsmiddelen worden steeds strenger. Maar telers kunnen niet zonder gewasbescherming. Daarnaast duurt het kweken van resistente planten erg lang en heeft genetische modificatie voor- en nadelen. 'We zoeken naar een oplossing voor dit grote dilemma in de landbouw,' zegt een analiste.
Het ontwikkelen van een resistente aardappel tegen aardappelziekte via de klassieke veredelingsroute is omslachtig, traag en duur. Het kweken van de *Bionica*, een biologisch aardappelras dat min of meer resistent is tegen *Phytophthora*, heeft zo'n veertig jaar geduurd.

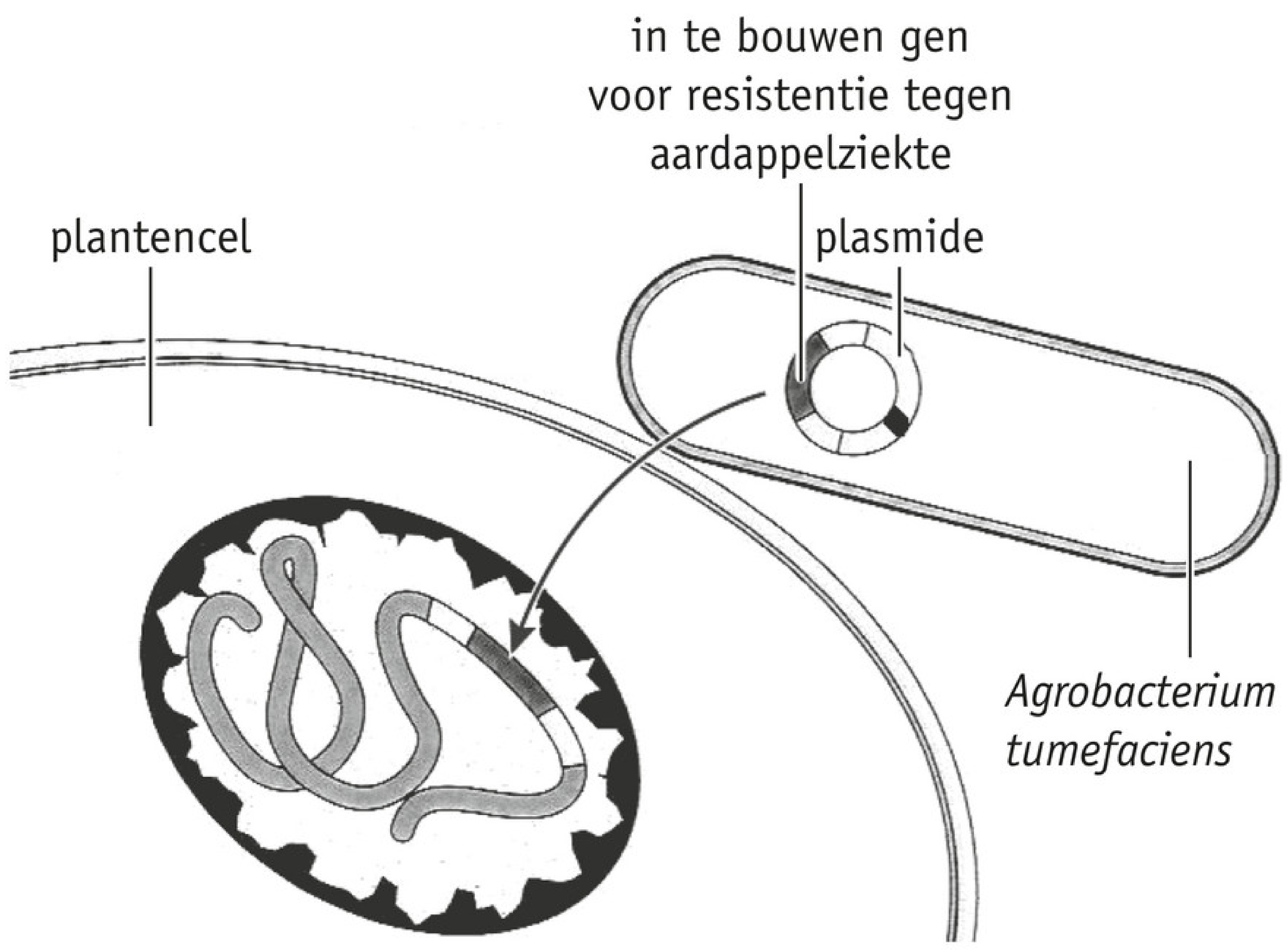
2p **5** Leg uit hoe door klassieke veredeling een nieuw ras kan worden ontwikkeld dat een hoge aardappelopbrengst heeft én resistent is tegen aardappelziekte.

Genetische modificatie heeft als voordeel dat op een snelle wijze een resistent ras kan worden verkregen, maar heeft als nadeel dat het maatschappelijk draagvlak ervoor niet groot is. Tegenstanders hebben bezwaren tegen het inbouwen van vreemd DNA in voedingsgewassen.

1p **6** Geef een ecologisch argument dat mensen gebruiken om zich tegen genetische modificatie te verzetten.

Een andere mogelijkheid om tot een resistent ras te komen, zou cisgenese kunnen zijn. Dit is een techniek om op gecontroleerde wijze genen te verplaatsen tussen organismen van dezelfde soort die ook met elkaar kunnen worden gekruist.
De werkwijze is als volgt: in de genenbank van Wageningen Universiteit worden in aardappelrassen die in het wild voorkomen, resistentiegenen opgespoord. De genen worden geïsoleerd en ingebouwd in een bacterieplasmide (een cirkelvormig DNA-molecuul). De bacterie brengt dit plasmide in de aardappelcellen, zodat deze het resistentiegen bevatten (zie afbeelding 2).

▼ **Afb. 2** Plasmide in een aardappelcel.



2p **7** Door welke eigenschap van DNA kan dit plasmide-DNA worden ingebouwd in het DNA van de aardappelplant? Vul aan: Beide soorten DNA ...

3 Vertering

Heterotrofe organismen nemen voedsel op om in leven te blijven. In het darmkanaal wordt het voedsel verteerd met behulp van enzymen. De verteringsproducten worden opgenomen in het bloed en afgegeven aan de cellen voor de dissimilatie en de voortgezette assimilatie. Onverteerde voedselresten verlaten het lichaam met de ontlasting.

ONTDEKKEN
Een gouden GREEP? 100

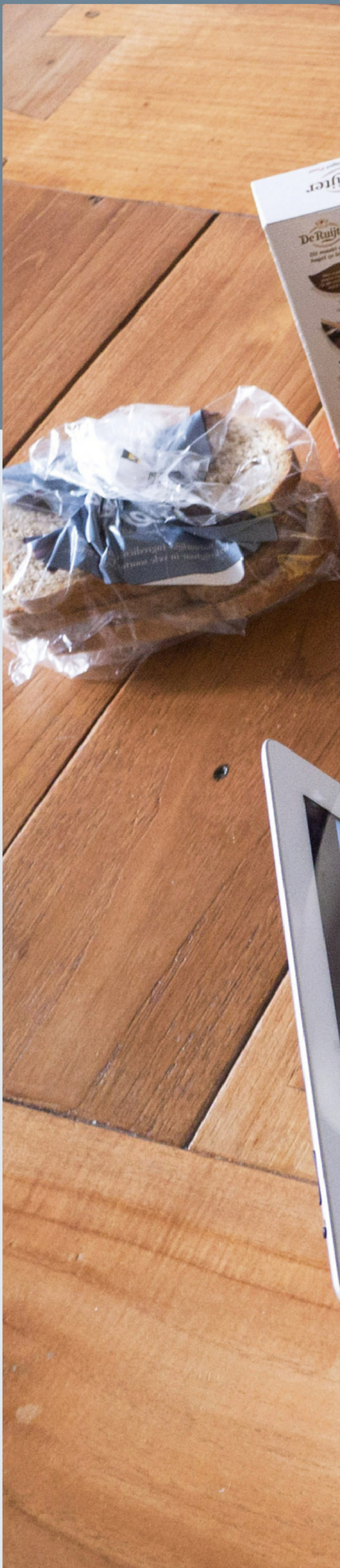
BASISSTOF
1 Voedingsstoffen 102
2 Het verteringsstelsel 110
3 Chemische vertering 116
4 Resorptie 122
5 Gezonde voeding 126

SAMENHANG
Eten en gegeten worden 134

PRACTICA 136

SAMENVATTING 140

EXAMENTRAINER 144







Een gouden GREEP?

⏩ BASISSTOF 5

In Nederland moet reclame aan een aantal regels voldoen. Deze regels staan in de Nederlandse Reclame Code (NRC). Een van de regels is dat een reclame niet misleidend mag zijn. In een misleidende reclame zegt een adverteerder dingen die niet waar zijn.

Een foto op de voorkant van de verpakking geeft de indruk dat een voedingsmiddel boordevol met gezonde ingrediënten zit. Maar uit de kleine lettertjes op de achterkant blijkt het vooral te bestaan uit suiker en vet. Of een product is volgens de reclame gemaakt naar een 'authentiek' recept, maar bevat een lange lijst kunstmatige toevoegingen. Om nog maar niet te spreken van claims als 'weerstandverhogende' yoghurt en zogenaamd 'natuurlijke' producten die allerlei synthetische E-nummers bevatten.

Volgens de Warenwet is het misleidend als er eigenschappen aan een product worden toegeschreven die het niet bezit. Organisaties als de Consumentenbond en Foodwatch verzetten zich tegen misleidende verpakkingen en reclames voor voedingsmiddelen.

'Uit de hand gelopen marketing die consumenten op het verkeerde been zet.'

De Consumentenbond noemt de loze voedingsclaims 'uit de hand gelopen marketing die consumenten op het verkeerde been zet'. In de afgelopen jaren zijn op die manier heel wat marketingtrucs onthuld. Voedselfabrikanten passen ze op grote schaal toe om producten te verkopen die in werkelijkheid helemaal niet zo gezond zijn als de reclame je wil laten geloven.

opdrachten

Onderzoekers van het voedingsinformatiebureau HAP komen op voor het recht op eerlijk, veilig en gezond voedsel. HAP wil dat voedselfabrikanten consumenten eerlijk voorlichten over de inhoud en de herkomst van hun producten. Een van de producten waarin HAP zich verdiept, is de GREEP.

> **Neem een GREEP!**
> GREEP (een samentrekking van graan en reep) is een nieuwe snack, gemaakt van de beste granen. Hij zit boordevol vezels, eiwitten en vitaminen. Eén GREEP van 75 gram stilt de stevige trek, als verantwoord tussendoortje of als gezond ontbijt. Handig voor in de rugzak mee naar school, in de lunchtrommel, op de sportschool of tijdens een stevige wandeling. GREEP is samengesteld volgens de laatste inzichten uit de voedingstechnologie en bestaat uit 100% natuurlijke ingrediënten. GREEP is dus goed voor het milieu en goed voor het lichaam!

Als onderzoeker van HAP neem je samen met twee collega's de reclame van GREEP onder de loep. Jullie zijn benieuwd of de reep wel zo gezond is als de reclame zegt.

1 Analyseer de reclametekst en noteer alle voedingsclaims. Zet erbij welke vraagtekens je bij elke claim kunt zetten (dus: wat is onduidelijk of mogelijk misleidend?).

2 Op de verpakking van de reep staan de ingrediënten en de voedingswaardetabel van afbeelding 1. Analyseer de gegevens en noteer hoeveel voedingsstoffen één GREEP bevat. Geef de hoeveelheid van elke (groep) voedingsstof(fen) weer in procenten van het totaal.

3 Wat is of zijn de belangrijkste functie(s) van elk van de voedingsstoffen in de GREEP?

4 Het Voedingscentrum adviseert om elke dag iets te eten uit de vijf vakken van de Schijf van Vijf. Op de ingrediëntenlijst van een verpakt voedingsmiddel staat het ingrediënt dat er het meest in voorkomt als eerste vermeld. Daarna het ingrediënt dat er dan het meest in voorkomt, enzovoort.
Ga na of de eerste vijf ingrediënten van de GREEP voorkomen in de Schijf van Vijf en zo ja, in welk vak.

5 Zoek uit welke stoffen worden bedoeld met de E-nummers in de GREEP: emulgator E473, kleurstof E150 en antioxidant E306.

6 Geef samen met je collega's eerlijke informatie over de GREEP en gezond eten. Doe dat in de vorm van een infographic. Verwerk hierin de informatie die je hebt verzameld.
- Geef aan welke ingrediënten en voedingsstoffen in de GREEP zitten en waarvoor je lichaam die stoffen nodig heeft (of niet).
- Geef ook aan wat de gevolgen kunnen zijn als je te veel repen per dag eet.
- Als je voedingsclaims gebruikt in jullie informatie, moeten die juist en volledig zijn.

In je infographic kun je de volgende begrippen gebruiken: *bewerkt/onbewerkt voedsel – cholesterol (HDL/LDL) – eiwitten – energiebehoefte – gezond gewicht – koolhydraten – Schijf van Vijf – vetten – welvaartsziekten*.

▼ **Afb. 1** Voedingswaardetabel.



Voedingswaarde	Per 100g	Per reep 75g (%*)
Energie	1824 kJ / 434 kcal	1368 kJ / 327 kcal (16,4%)
Vet	16 g	12 g (16,7%)
waarvan verzadigde vetzuren	7,9 g	6,0 g (24%)
cholesterol	5,3 mg	4,0 mg
Koolhydraten	64 g	48 g
waarvan suikers	28 g	21,3 g (24,5%)
Vezels	5,5 g	4,1 g
Eiwitten	7,6 g	5,7 g
Zout	0,6 g	0,45 g (7,1%)
Water	0,4 g	0,3 g

Granenreep met hazelnoten. Ingrediënten: Geroosterde volkoren graanvlokken (**haver** (20%), **gerst** (4%), **tarwe** (3%)), glucose-fructosestroop, granencrispies (**tarwe**meel (8%), suiker, maïsmeel (1%), rijstmeel (1%), **gerst**mout, zout, karamelsuikerstroop), glucosestroop, **hazelnoten** (10%), suiker, cornflakes (maïs (6%), zout, **gerst**moutextract), kokosvet, geroosterde kokosvlokken, honing (1%), zout, karamelsuikerstroop, emulgator (E473), natuurlijk aroma, kleurstof (E150), antioxidant (E306).

* Referentie-inname van een gemiddelde volwassene (8400kJ / 2000kcal)

Leerdoel

– Je kunt de kenmerken en functies noemen van zes groepen voedingsstoffen en van voedingsvezel.

1 Voedingsstoffen

Om alle stofwisselingsprocessen in je lichaam goed te laten verlopen, heb je ongeveer vijftig verschillende voedingsstoffen nodig. Die krijg je bijna allemaal binnen door gevarieerd te eten en te drinken.

VOEDING

Eten en drinken is voor jou, als heterotroof organisme, noodzakelijk om in leven te blijven. Zo krijg je de stoffen binnen die nodig zijn voor de stofwisselingsprocessen in je lichaam. Alles wat je eet of drinkt, noem je **voedingsmiddelen**.
Voedingsmiddelen bevatten **voedingsstoffen**. Er zijn zes groepen voedingsstoffen: eiwitten, koolhydraten, vetten, water, mineralen en vitaminen. Daarnaast bevat je voedsel voedingsvezels. Al deze stoffen vervullen verschillende functies in je lichaam. Zo worden sommige voedingsstoffen gebruikt als **bouwstof** voor de vorming van organische moleculen bij de voortgezette assimilatie. Deze moleculen zijn nodig voor de vorming van (delen van) cellen en weefsels. Vooral voor groei en ontwikkeling van het lichaam en voor vervanging van afgestorven cellen zijn bouwstoffen nodig.

Brandstoffen zijn voedingsstoffen die energie kunnen leveren voor de dissimilatie (verbranding). De energie die daarbij vrijkomt, is bijvoorbeeld nodig om te bewegen en de lichaamstemperatuur op peil te houden. Ook voor groei, ontwikkeling en herstel is energie nodig.
Je hebt voedingsstoffen van alle zes groepen nodig om gezond te blijven. Een tekort aan voedingsstoffen kan ziekte veroorzaken.

EIWITTEN (PROTEÏNEN)

▼ **Afb. 1** Voedingsmiddelen die veel eiwitten bevatten.



Eiwitten (proteïnen) zijn ketens van enkele tientallen tot meer dan duizend aminozuren. Er zijn dierlijke en plantaardige eiwitten. Dierlijke eiwitten zitten vooral in vlees, vis, melk, kaas en eieren. Plantaardige eiwitten zitten vooral in brood, graanproducten, peulvruchten, noten en paddenstoelen (zie afbeelding 1).
In het verteringsstelsel worden eiwitmoleculen uit het voedsel gesplitst in afzonderlijke aminozuurmoleculen, die worden opgenomen in het bloed. Via het bloed worden de aminozuren naar de lever vervoerd en vandaaruit naar alle organen van het lichaam. Bij de eiwitsynthese worden de aminozuren in de cellen weer aan elkaar gekoppeld tot eiwitmoleculen.
In eiwitten van mensen komen twintig verschillende aminozuren voor. Twaalf daarvan kunnen volwassenen zelf maken als ze niet voldoende in het voedsel voorkomen. Dat gebeurt in de lever. De andere acht aminozuren kunnen mensen niet of in onvoldoende hoeveelheden zelf vormen. Daarom moeten deze **essentiële aminozuren** in het voedsel voorkomen.

Eiwitten zijn belangrijke bouwstoffen van cellen en weefsels. Ze maken bijvoorbeeld deel uit van tussencelstof, zoals de collageenvezels in beenweefsel en kraakbeenweefsel. Ook reguleren eiwitten bijna alle processen in een organisme. Ze zijn betrokken bij het transport van stoffen, bij het overbrengen van signalen van de ene cel naar de andere (celcommunicatie) en bij chemische reacties.
Je lichaam kan eiwitten ook gebruiken als brandstof. Eiwitten worden dan eerst omgezet in glucose, dat vervolgens wordt verbrand. Wanneer er niet voldoende glucose beschikbaar is, verbrand je de eiwitten uit je spieren. Hierdoor neemt

je spiermassa af. Ook een overschot aan eiwitten en aminozuren in je voeding wordt in je lichaam omgezet in glucose. Bij de dissimilatie van eiwitten ontstaat ammoniak, dat in de lever wordt omgezet in ureum. Ureum wordt uitgescheiden met de urine.

Koolhydraten (sachariden)

▼ **Afb. 2** Voedingsmiddelen die veel koolhydraten bevatten.



In afbeelding 2 zie je voedingsmiddelen die veel **koolhydraten** (sachariden) bevatten. Zoete vruchten, jam, stroop en honing bevatten veel glucose, fructose (beide monosachariden) en sacharose (een disacharide). Brood, aardappelen, rijst en macaroni bevatten veel zetmeel (een polysacharide). Dierlijk voedsel bevat relatief weinig koolhydraten.
Koolhydraten zijn belangrijke brandstoffen in je lichaam. Als 1 g koolhydraten wordt verbrand, komt 17 kJ energie vrij. Door koolhydraten te eten kun je in het grootste deel van je energiebehoefte voorzien. Als je te veel koolhydraten eet, zorgt het hormoon insuline ervoor dat een klein deel daarvan wordt omgezet in het polysacharide glycogeen, dat als reservestof wordt opgeslagen in de lever en in spieren. Het grootste deel van de overtollige hoeveelheid koolhydraten wordt omgezet in vet en opgeslagen onder de huid (in het onderhuidse bindweefsel) of rondom organen (vooral spieren, hart en nieren).
Koolhydraten kunnen ook dienen als bouwstoffen. Een DNA-molecuul bevat bijvoorbeeld het monosacharide desoxyribose en ATP bevat het monosacharide ribose. In celmembranen spelen koolhydraatketens een rol bij de herkenning van de cel door andere cellen.

Voedingsvezels zijn koolhydraten die niet worden verteerd door enzymen van de mens. Voorbeelden zijn cellulose en pectine. Een deel van de voedingsvezels kan in de darmen wel worden afgebroken door de enzymen van bacteriën. Voedingsvezels zijn afkomstig uit de celwanden van plantaardige voedingsmiddelen. Ze bevorderen de darmwerking en de stoelgang. Ook zorgen voedingsvezels eerder voor een verzadigd gevoel, waardoor je niet zo snel te veel eet. Hierdoor behoud je gemakkelijker een gezond gewicht.

Vetten (lipiden)

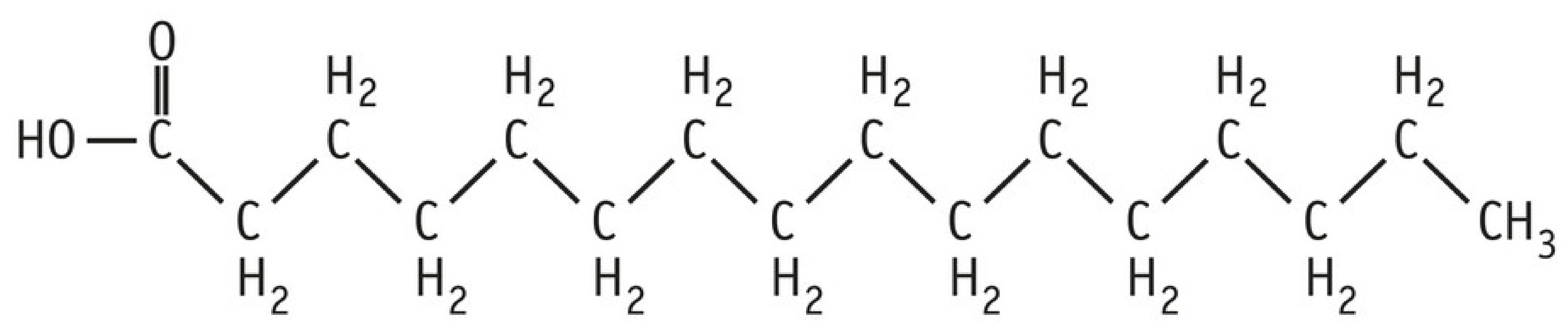
Voedingsmiddelen als halvarine, zonnebloemolie, vlees, vis, kaas, noten, koek, snacks en sauzen bevatten **vetten** (zie afbeelding 3). Een vetmolecuul is opgebouwd uit een glycerolmolecuul en drie vetzuurmoleculen. Deze vetzuren kunnen **verzadigd** of **onverzadigd** zijn (zie afbeelding 4). Bij een verzadigd vetzuur zijn alle bindingsplaatsen van de C-atomen bezet door waterstofatomen. Bij een onverzadigd vetzuur is dat niet het geval. Tussen C-atomen die niet bezet zijn door waterstofatomen, wordt een dubbele binding gemaakt. Vooral plantaardige oliën (bijvoorbeeld olijf- en zonnebloemolie) en vis bevatten veel onverzadigde vetzuren.

▼ **Afb. 3** Voedingsmiddelen die veel vetten bevatten.

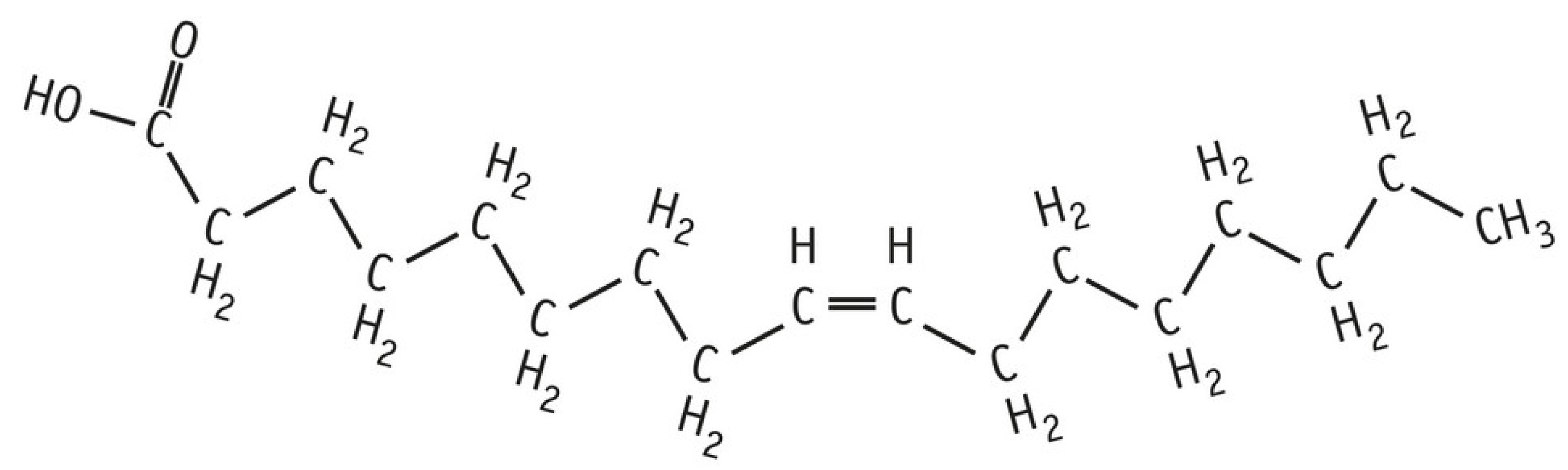


Dierlijke vetten bevatten veel verzadigde vetzuren.
Je lichaam kan glycerol en de meeste vetzuren vormen uit andere organische stoffen. Daardoor hoeft je voedsel maar weinig vetten te bevatten. Alleen enkele onverzadigde vetzuren moeten in het voedsel voorkomen. Een voorbeeld van deze **essentiële vetzuren** is linolzuur.

▼ **Afb. 4** Vetzuurmoleculen.



1 structuurformule van een verzadigd vetzuur (palmitinezuur)



2 structuurformule van een (enkelvoudig) onverzadigd vetzuur (oliezuur)

Vetten dienen vooral als brandstoffen in je lichaam. Bij de verbranding van 1 g vet komt 38 kJ energie vrij. Als je te veel vetten eet, sla je ze als reserve-energiebron op onder de huid en rondom je organen. Het vet onder de huid heeft een warmte-isolerende functie.
Vetten dienen ook als bouwstoffen. Fosfolipiden (vetachtige stoffen) vormen een belangrijk bestanddeel van membranen. Sommige vitaminen (A, D, E en K) zijn oplosbaar in vet, waardoor je ze alleen via vet binnenkrijgt. **Cholesterol** is een vet dat je voor een klein deel binnenkrijgt via je voeding. De meeste cholesterol wordt aangemaakt door de lever. Cholesterol komt voor in celmembranen en wordt gebruikt bij de productie van hormonen, gal en vitamine D.

opdrachten

1 Ongeveer 50% van het drooggewicht van een cel van een mens bestaat uit eiwitten. Verschillende typen eiwitten vervullen uiteenlopende functies. Maak een overzicht van deze functies door de tabel verder in te vullen. Gebruik daarbij: *actine – aquaporine – ATP'ase – collageenvezels – DNA-polymerase – enzymen – GnRH – hormonen – myosine – natrium-kaliumpomp – receptoreiwit voor acetylcholine op de spiervezels – receptoren – testosteron – transporteiwitten*.

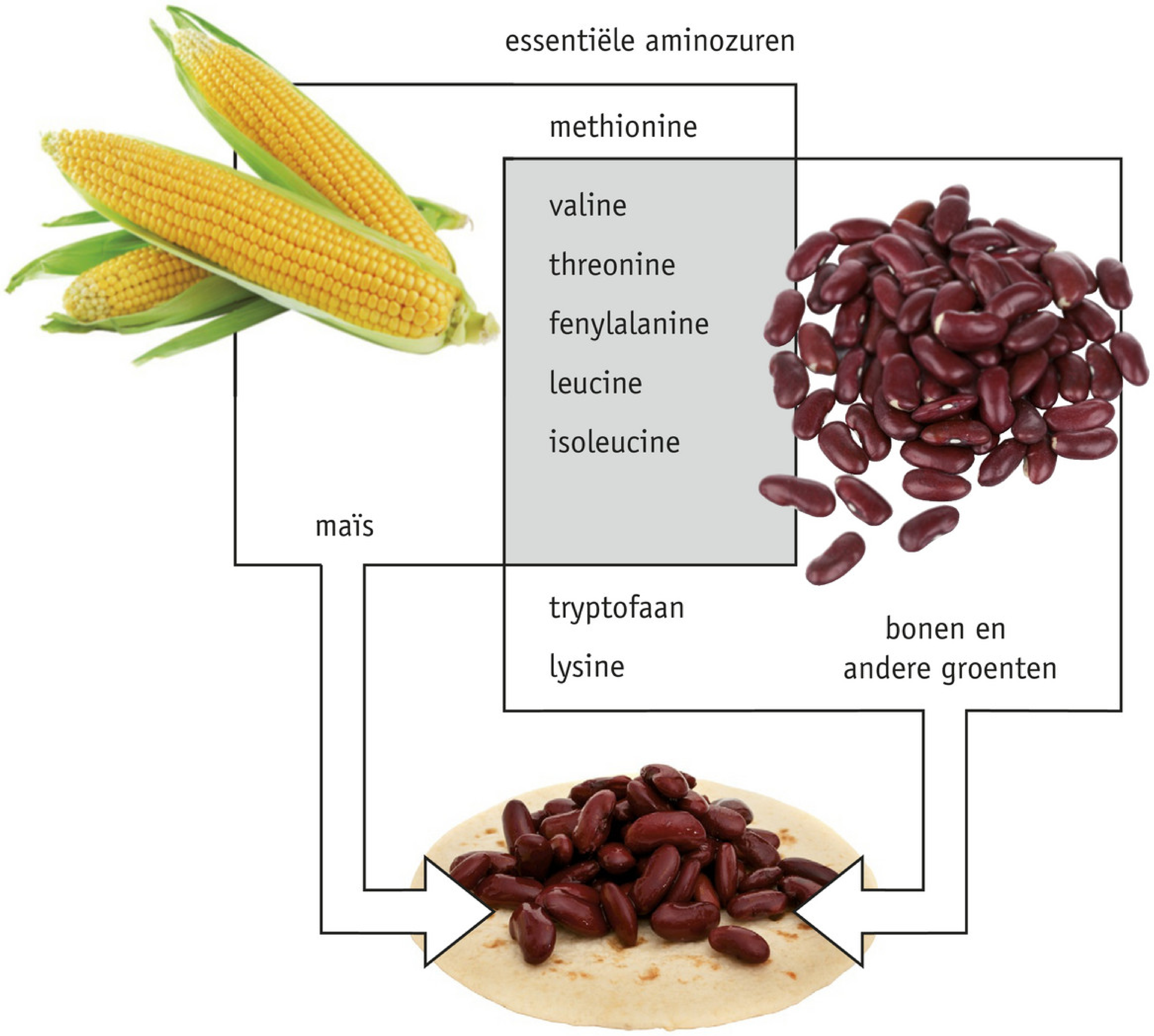
Functie eiwit	Type eiwit	Voorbeeld
Overbrengen van signalen van de ene cel naar de andere (celcommunicatie)		
Vervoeren van stoffen door membranen of in het bloed		
Chemische omzettingen katalyseren		
Beweging van spieren mogelijk maken	motoreiwitten	
Bestanddeel van tussencelstof	structuureiwitten	
Cellulaire respons op gang brengen wanneer een signaalmolecuul bindt		

2 In je lichaam worden eiwitten opgebouwd uit aminozuren.

a In welke organellen vindt de synthese van eiwitmoleculen uit aminozuurmoleculen plaats?

b Vlees en dierlijke producten zoals eieren, melk en kaas leveren alle essentiële aminozuren, maar een groot deel van de wereldbevolking is noodgedwongen vegetariër doordat ze geen vlees kunnen betalen.
Leg met behulp van afbeelding 5 uit dat het voor arme mensen in Zuid-Amerikaanse landen van belang is om ten minste een combinatie van maïs en bonen te eten.

c Waardoor kan een vegetariër in Zuid-Amerika ziek worden als hij alleen maar bonen eet en geen maïs?



▶ **Afb. 5** Een vegetarisch dieet.

3 Ralph eet veel vlees en vleeswaren. Hierdoor krijgt hij met zijn voedsel veel meer eiwitten binnen dan hij nodig heeft.

a Wat gebeurt er met het teveel aan eiwitten dat Ralph binnenkrijgt?

b Heeft Ralph dezelfde hoeveelheid koolhydraten nodig als iemand die geen overmaat aan eiwitten met zijn voedsel binnenkrijgt? Leg je antwoord uit.

c Als je te veel eiwitten met je voedsel binnenkrijgt, wordt het overschot niet opgeslagen in je lichaam maar verbrand. Toch kun je van te veel eiwitten in je voedsel dik worden. Leg dat uit.

4 Bekijk afbeelding 4.1 en 4.2.
Beschrijf het verschil tussen een molecuul van een verzadigd vetzuur en een molecuul van een onverzadigd vetzuur.

Afb. 6 Voedingsmiddelen die veel water bevatten.

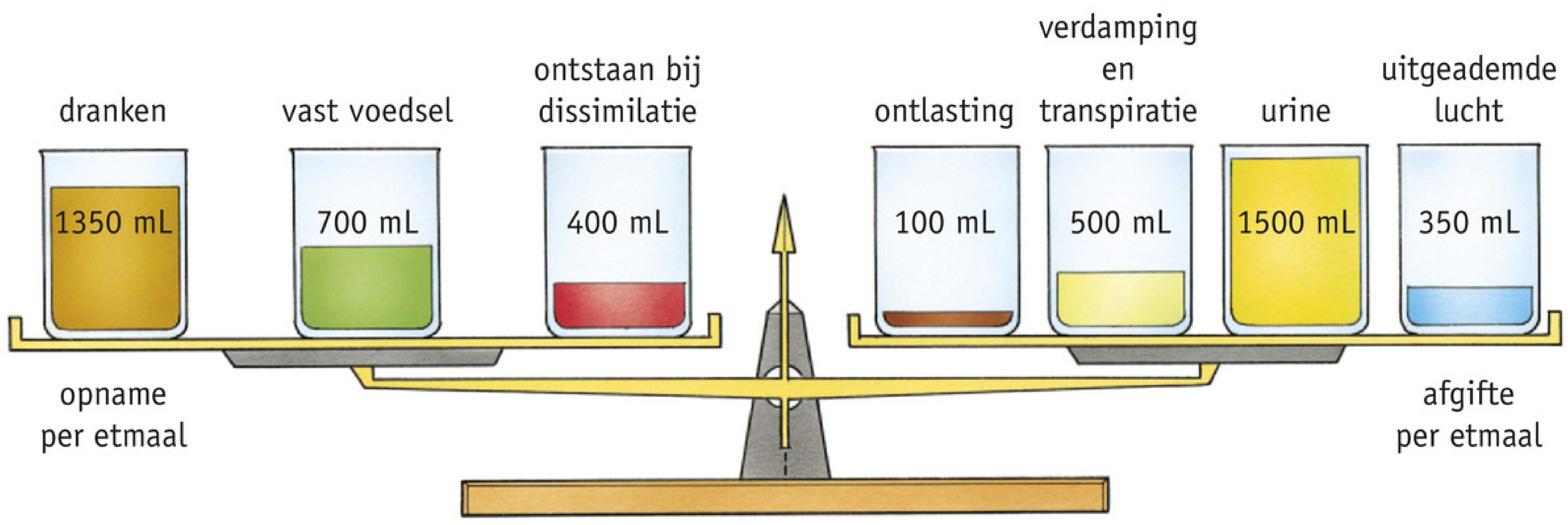


WATER

Alle dranken maar ook groenten en fruit, zijn voedingsmiddelen die veel water bevatten (zie afbeelding 6).
Organismen bestaan voor het grootste deel uit water. Een volwassen menselijk lichaam bevat ongeveer 60% water. Water is onder andere een belangrijke bouwstof voor je lichaamscellen en een oplosmiddel voor allerlei stoffen. Samen met de opgeloste stoffen bepaalt water de osmotische waarde van de vloeistoffen in het lichaam. Water is ook een transportmiddel, bijvoorbeeld in bloed. Verder speelt water een belangrijke rol bij de regeling van de lichaamstemperatuur. Door verdamping van het water uit zweet koelt het lichaam af.

Ook met uitgeademde lucht, urine en ontlasting raakt het lichaam water kwijt. Dit verlies wordt voor een klein deel aangevuld door het water dat bij dissimilatie ontstaat. De rest wordt aangevuld door eten en drinken (zie afbeelding 7). Als het lichaam plotseling veel water kwijtraakt (bijvoorbeeld bij hevig braken of diarree), kan dit levensgevaarlijk zijn.

Afb. 7 Waterbalans: de gemiddelde waarden per etmaal.



MINERALEN (ZOUTEN)

In afbeelding 8 zie je voedingsmiddelen die veel **mineralen** (zouten) bevatten. Mineralen zijn anorganische stoffen zoals calcium, fosfor, kalium en natrium. Je hebt dagelijks allerlei soorten mineralen nodig om de processen in je lichaam goed te laten verlopen. In gezonde voeding zitten voldoende mineralen. Van het mineraal natrium krijgen veel mensen zelfs te veel binnen via keukenzout (natriumchloride).

Sommige mineralen worden gebruikt als bouwstoffen. Zo zorgt calcium ervoor dat je botweefsel hard is en geeft het stevigheid aan tandbeen. Fosfor geeft, net als calcium, stevigheid aan botten en tanden.
Mineralen kunnen ook andere functies vervullen. Calcium is bijvoorbeeld nodig om je bloed te laten stollen. Kalium zorgt er samen met natrium voor dat zenuwcellen impulsen kunnen geleiden.

Sommige mineralen heb je slechts in zeer kleine hoeveelheden nodig. Deze mineralen worden **spoorelementen** genoemd. Voorbeelden hiervan zijn chroom, fluor, jodium en ijzer. Fluor versterkt het tandglazuur. IJzer is nodig voor de vorming van hemoglobine, een molecuul in rode bloedcellen dat verantwoordelijk is voor zuurstoftransport. Spoorelementen zijn in je lichaam vaak bestanddelen van enzymen en hormonen. Zo speelt chroom een rol bij de werking van insuline en bevat het schildklierhormoon jodium.

Afb. 8 Voedingsmiddelen die veel mineralen bevatten.



▼ **Afb. 9** Voedingsmiddelen die veel vitaminen bevatten.



▼ **Afb. 10** O-benen door een tekort aan vitamine D (rachitis).



VITAMINEN

De voedingsmiddelen in afbeelding 9 bevatten veel vitaminen. **Vitaminen** zijn organische stoffen die nodig zijn om de processen in je lichaam goed te laten verlopen. Ze worden aangegeven met een letter. Belangrijke vitaminen zijn A, B, C, D en K. Vitamine B is een verzamelnaam voor verschillende vitaminen die worden aangegeven met cijfers, bijvoorbeeld B1 en B6.

Vitamine K kan worden gemaakt door bacteriën in de dikke darm. Alle andere vitaminen kunnen niet in je lichaam worden gevormd en moeten daardoor in je voedsel aanwezig zijn. Sommige vitaminen zijn in je voedsel aanwezig als provitaminen. Uit een provitamine kan je lichaam dan zelf de vitamine vormen. Uit provitamine D bijvoorbeeld kan je lichaam onder invloed van zonlicht vitamine D aanmaken in de huid.

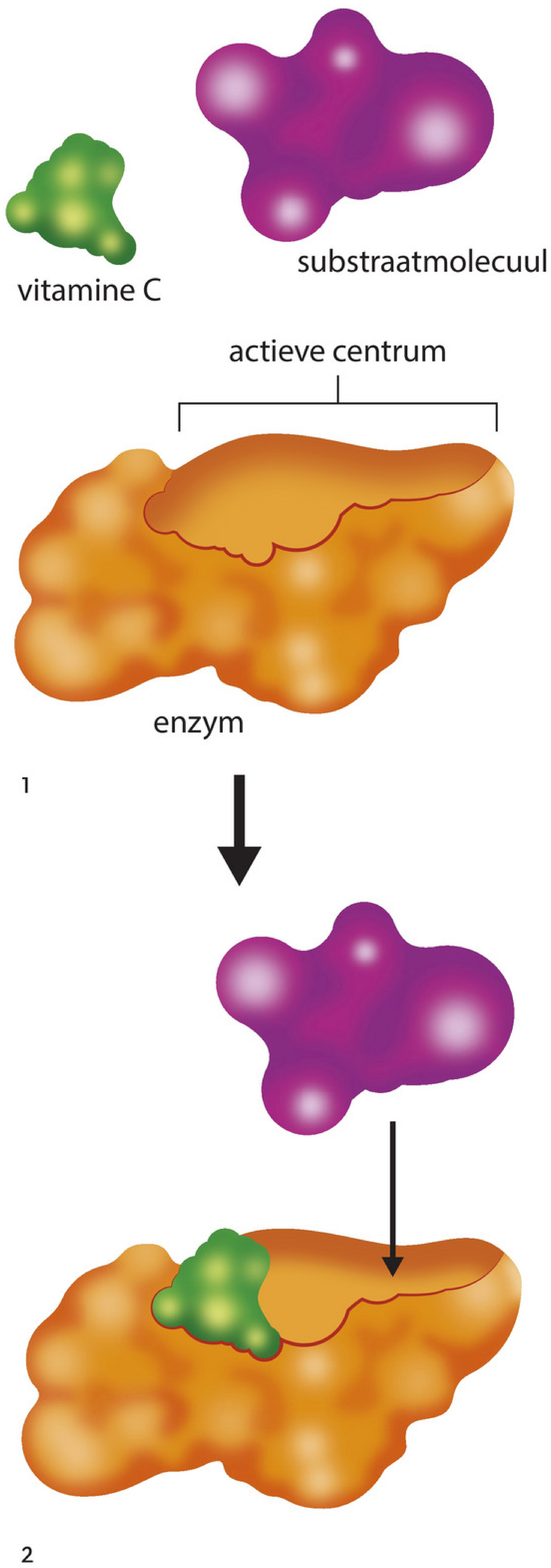
Net als spoorelementen zijn veel vitaminen in je lichaam bestanddelen van enzymen. Ze zijn dus nodig om stofwisselingsreacties goed te laten verlopen. Bij gebrek aan vitaminen ontstaan **gebreksziekten** (zie afbeelding 10 en 11).
Ook als je te veel vitaminen binnenkrijgt, kun je ziek worden. Volgens de Gezondheidsraad bevat gevarieerde voeding voldoende vitaminen en provitaminen. Alleen bepaalde risicogroepen, zoals zwangere vrouwen of veganisten, hebben extra vitamine D, K, B11 (foliumzuur) of B12 nodig.
In afbeelding 11 staan kenmerken van enkele vitaminen. In Binas vind je een uitgebreider overzicht.

▶▶ PRACTICUMOPDRACHT 1 EN 2

▼ **Afb. 11** Kenmerken van enkele vitaminen.

	Is nodig voor	Komt voor in	Gebreksziekte
A	– de aanmaak van cellen en de weefselstructuur van de huid – de vorming van epitheelcellen in huid, haar, luchtpijp, tandvlees en longweefsel – een goede werking van de staafjes in het netvlies	– melk, boter, margarine, lever, ei, vis – provitamine A komt voor in tomaten, worteltjes	– slecht zien in de schemering (nachtblindheid) – verhoornen van het hoornvlies (leidt tot blindheid) – schilferen van de huid – verminderde weerstand
B1	een goede werking van zenuwstelsel en spieren	vlees, eieren, gist, volkorenbrood, peulvruchten, granen, aardappelen	– vermoeidheid – zenuwontstekingen – spierverlammingen (beriberi)
C	– de vorming van bindweefsel en bloedvaten – goede weerstand – bevordert de absorptie van ijzer in de darmen	fruit (vooral citrusvruchten), kool en andere bladgroenten, nieuwe aard-appelen	– vermoeidheid – verminderde weerstand – tandvleesbloedingen – inwendige bloedingen (scheurbuik)
D	de resorptie van calcium en het vast-leggen van calcium in beenderen en het gebit	– margarine, eidooier, vette vis, paddenstoelen – kan in de huid worden gevormd onder invloed van ultraviolette straling in zonlicht	– ontkalken van beenderen – vergroeiingen (rachitis)
K	een goede bloedstolling	groene bladgroenten, fruit, melk, melkproducten, vlees, eieren, granen	stoornissen in de bloedstolling (bloedingen)

▼ **Afb. 12** De werking van een enzym bij de vorming van collageen.



opdrachten

5 Maak een tabel waarin je van de zes groepen voedingsstoffen aangeeft:
- of ze fungeren als bouwstoffen en/of als brandstoffen;
- welke andere functies ze hebben.

6 Voldoende water is onmisbaar voor het goed functioneren van je lichaam.

a Noem vijf manieren waarop je lichaam water kan kwijtraken.

b Hoeveel water heb je dagelijks ongeveer nodig volgens de waterbalans van afbeelding 7?

c Hoeveel water moet je dagelijks via je voedsel binnenkrijgen?

d Waterintoxicatie of watervergiftiging kan ontstaan wanneer iemand te veel water drinkt. In 2016 overleed een toeriste in Amsterdam nadat ze een grote hoeveelheid water had gedronken. Ze was onder invloed van softdrugs. Door het drinken van veel water neemt de osmotische waarde van het bloed en van andere vloeistoffen buiten de cel af. Leg uit welke gevolgen dit heeft voor de lichaamscellen.

7 Niet iedereen heeft evenveel mineralen nodig.

a Vrouwen hebben in de vruchtbare periode van hun leven meer ijzer nodig dan mannen. Leg dit uit.

b Een kaliumtekort komt niet vaak voor. Je kunt het onder andere herkennen aan verzwakte spieren.
Leg uit hoe een kaliumtekort leidt tot verzwakte spieren.

8 Enzymen katalyseren stofwisselingsprocessen zonder daarbij zelf te worden verbruikt. Een enzym heeft een actief centrum met een specifieke ruimtelijke structuur waarop precies een substraatmolecuul past. Zodra een substraatmolecuul bindt aan het actieve centrum, vindt een reactie plaats.

a Veel enzymen zijn alleen actief met de hulp van vitaminen en mineralen.
Leg uit dat je van deze vitaminen en mineralen slechts zeer kleine hoeveelheden nodig hebt in je voeding.

b Vitamine C is onmisbaar voor de vorming van collageen. Collageen zorgt voor stevigheid en elasticiteit van bindweefsels in onder andere je huid, botten, bloedvaten en tussen je organen. Bij de productie van collageen worden drie collageenvezels met behulp van verschillende enzymen in elkaar gedraaid als bij een touw voor een steviger structuur. Afbeelding 12 geeft de werking van een van deze enzymen weer.
Leg uit dat vitamine C nodig is om de chemische reactie in het enzym te laten verlopen.

c Een student die op een dieet van pizza's leeft, krijgt na verloop van tijd last van bloedend tandvlees en blauwe plekken die ontstaan door spontane inwendige bloedingen. Verklaar deze symptomen.

9 Bepaalde risicogroepen krijgen niet genoeg vitaminen binnen via eten en drinken of door zonlicht. Voor deze groepen heeft de Gezondheidsraad een advies opgesteld om extra vitaminen te slikken.

a Zoek op de site van het Voedingscentrum voor welke risicogroepen dit advies geldt en om welke vitaminen het gaat.

b Waarom geven veel ouders hun opgroeiende kinderen in de wintermaanden extra vitamine D?

c Bacteriën in de dikke darm kunnen vitamine K aanmaken.
Om welk type symbiose gaat het hier? Leg je antwoord uit.

d Volwassenen die langdurig antibiotica gebruiken, kunnen een tekort krijgen aan vitamine K met als gevolg dat de bloedstolling langzamer gaat.
Leg uit hoe een tekort aan vitamine K kan ontstaan door gebruik van antibiotica.

e Waarom adviseert de Gezondheidsraad om baby's vitamine K toe te dienen?

CONTEXT Wetenschap

Voedsel voor het brein

Mensen zijn bijzondere wezens. Ze lopen op twee benen en hebben hersenen met bijzonder veel zenuwcellen. Voor het functioneren van al die zenuwcellen in je hersenen is veel brandstof nodig. Ongeveer een kwart van alle energie die je dagelijks met je voedsel binnenkrijgt, wordt gebruikt in de hersenen. Wetenschappers gaan er daarom van uit dat het aantal zenuwcellen in de hersenen samenhangt met de hoeveelheid energie die beschikbaar is.
Volgens Dr. Karen Hardy is het gemiddelde aantal zenuwcellen in de hersenen van de mens sterk toegenomen sinds we de laatste anderhalf miljoen jaar meer koolhydraten zijn gaan eten (vooral meer zetmeel). Tegelijkertijd kregen we in ons DNA meer kopieën van de genen voor de synthese van speekselamylase. Dit enzym katalyseert de vertering van zetmeel.

opdracht

10 a Waarvoor gebruiken zenuwcellen in de hersenen de meeste energie?

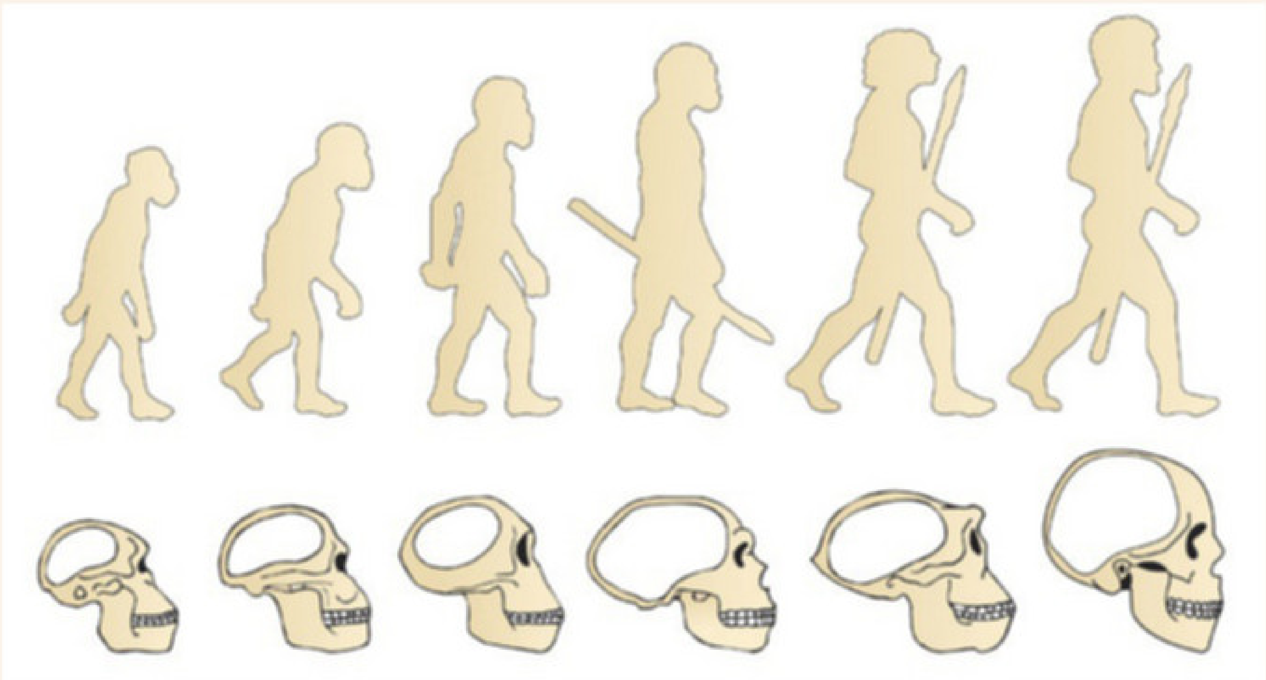
b Sara weegt 65 kg en verbruikt ongeveer 8400 kJ per dag.
Hoeveel energie verbruiken haar hersenen per dag?

c Zo'n anderhalf miljoen jaar geleden zijn mensen hun voedsel gaan koken, bakken en roosteren. Mensen zijn de enige organismen op aarde die dit doen. Hierdoor is voedsel gemakkelijker te kauwen en te verteren en per portie komen er meer voedingsstoffen vrij.
Leg uit dat gekookt plantaardig voedsel gemakkelijker is te verteren door ons verteringsstelsel.

d Waardoor kunnen de darmen van mensen in verhouding zo'n 40% korter zijn dan de darmen bij andere primaten?

e Primaten vormen de orde van zoogdieren waar ook mensen toe behoren.
De meeste primaten bezitten twee kopieën van het gen voor de synthese van speekselamylase in hun DNA. Mensen bezitten zes kopieën. Zetmeel was voor onze voorouders volop beschikbaar in de vorm van knolgewassen, zaden en fruit.
Leg uit hoe het bezitten van meer kopieën van het gen voor de synthese van speekselamylase het vermogen om zetmeel te verteren bij mensen kan verhogen.

▶ **Afb. 13** De ontwikkeling van de hersenen bij de mens.



Leerdoelen
- Je kunt de bouw, werking en functies van de verteringsorganen van de mens beschrijven en de relatie herkennen tussen de bouw en hun functie.
- Je kunt verschillen en overeenkomsten herkennen tussen organen en orgaanstelsels van de mens en van verschillende diersoorten.

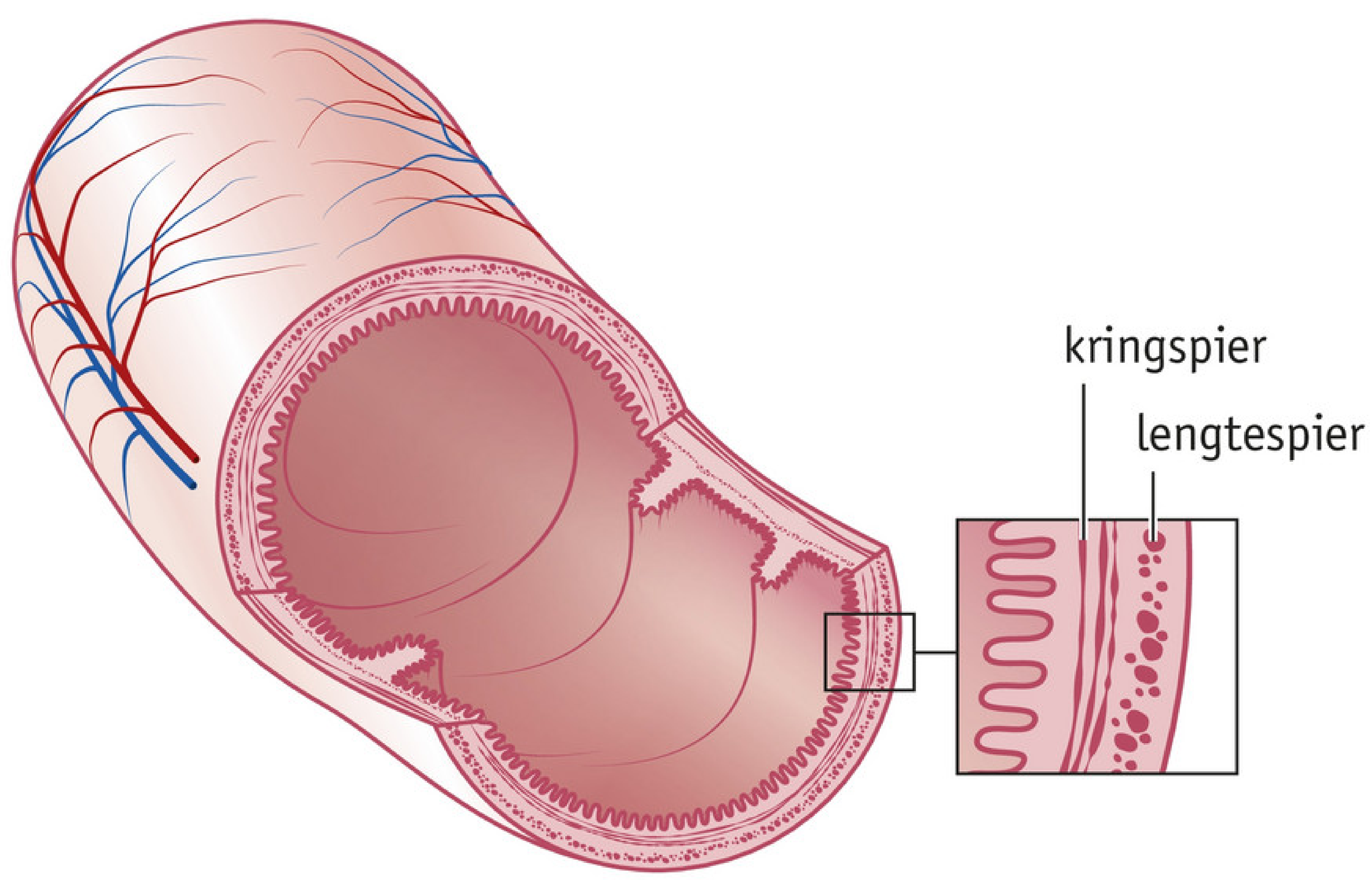
2 Het verteringsstelsel

Het spijsverteringskanaal bestaat uit een lange buis en lichaamsholten. Via de mond komt het voedsel binnen en via de anus verlaten onverteerde resten het lichaam. Onderweg worden voedingsstoffen uit het voedsel opgenomen in het bloed.

HET DARMKANAAL
In het darmkanaal (verteringskanaal) vindt vertering van het voedsel plaats. Grote organische moleculen (eiwitten, koolhydraten en vetten) uit de voedselbrij worden met behulp van enzymen afgebroken tot kleine moleculen: de **verteringsproducten**. Die worden vervolgens via de cellen van de darmwand opgenomen in het bloed. In het lichaam kunnen van deze kleine moleculen weer grote moleculen worden gemaakt (voortgezette assimilatie).

In de wand van het hele darmkanaal bevinden zich kringspieren en lengtespieren (zie afbeelding 14). Door het afwisselend samentrekken van deze spieren ontstaat de **darmperistaltiek**. Hierdoor wordt de voedselbrij voortgeduwd, gekneed en goed gemengd met de **verteringssappen**, die **verteringsklieren** afgeven aan de voedselbrij in het darmkanaal. Veel verteringssappen bevatten enzymen.

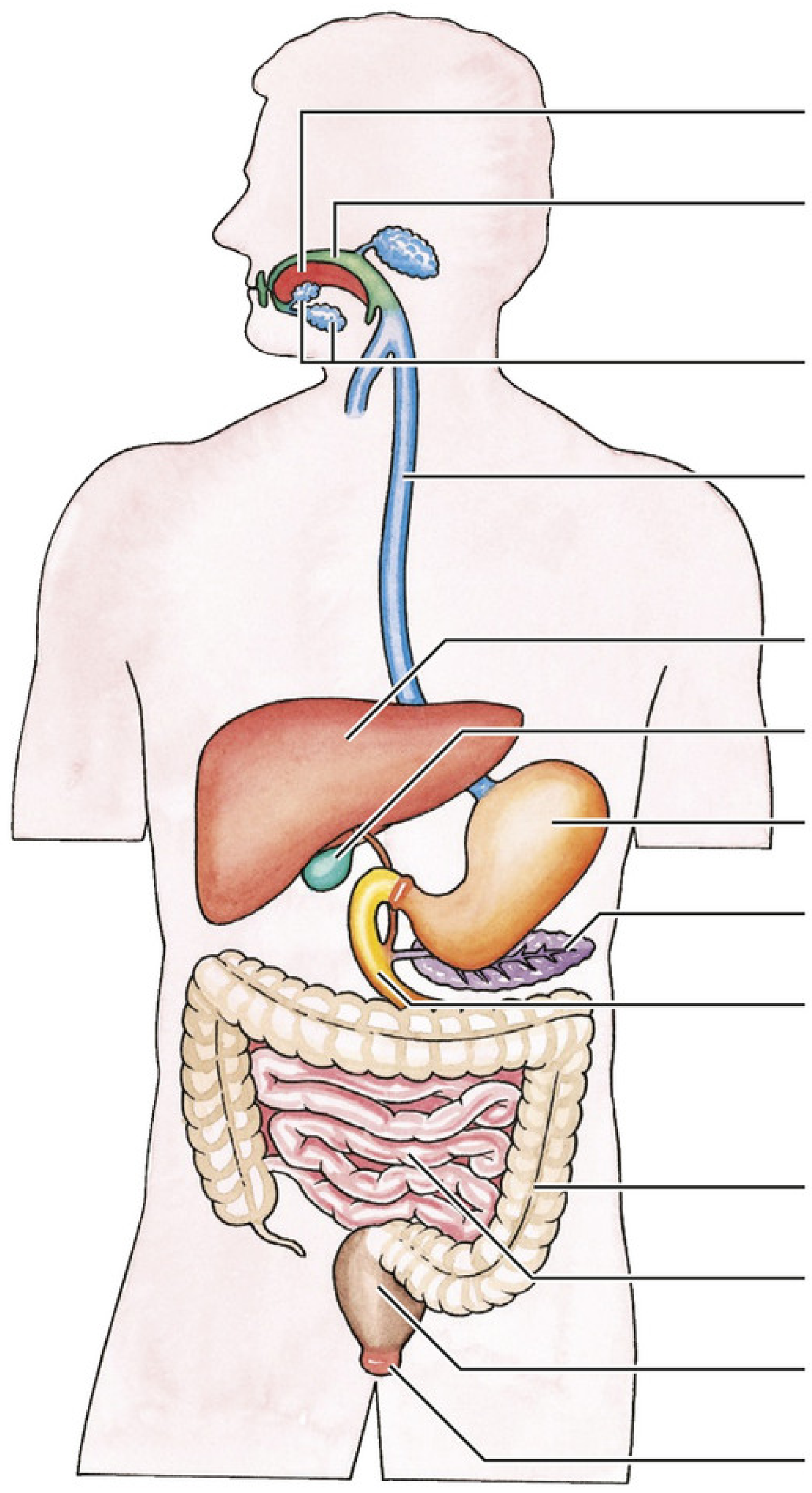
Afb. 14 Kringspieren en lengtespieren in het darmkanaal (schematisch).



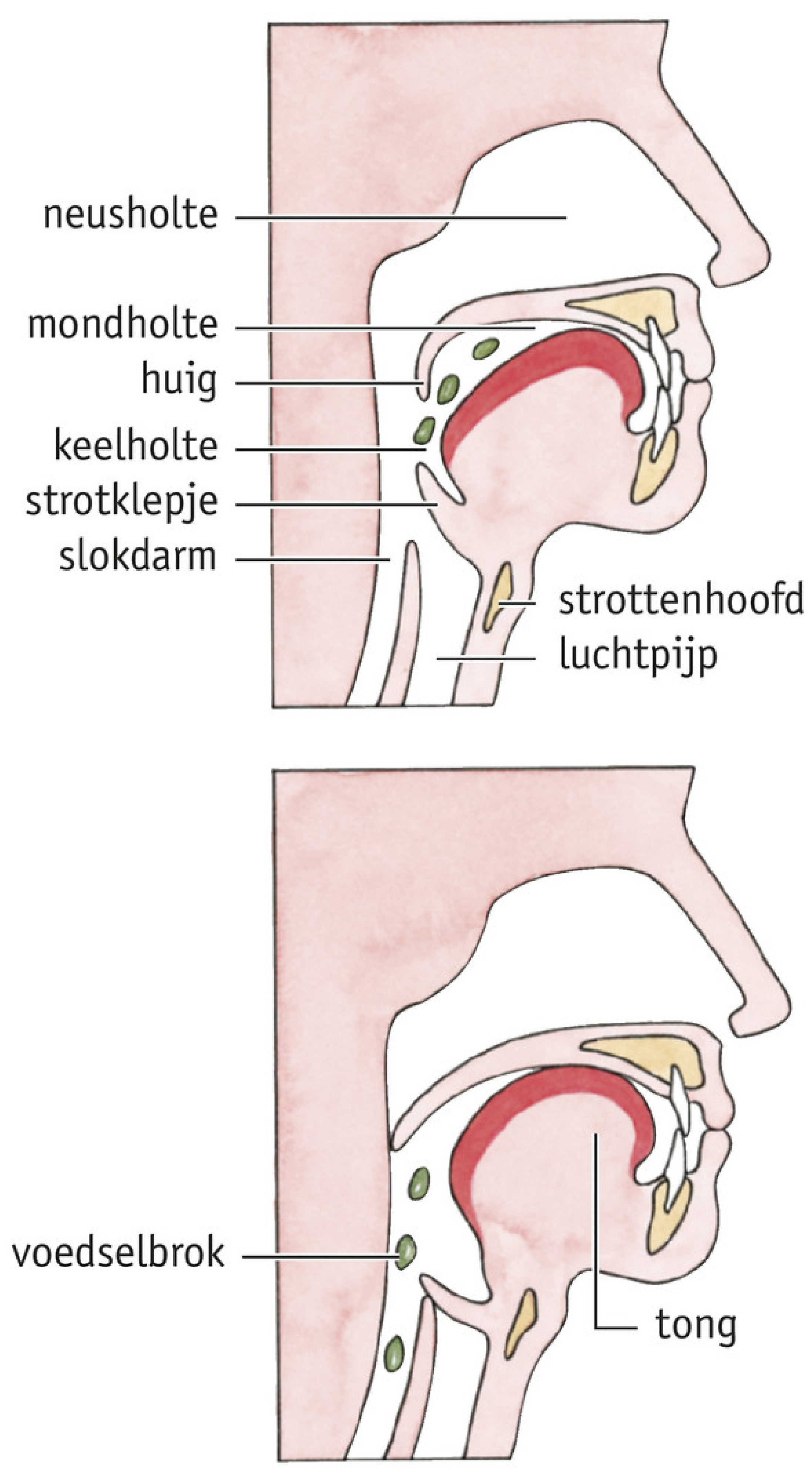
De darmperistaltiek wordt geregeld door het autonome zenuwstelsel. Je kunt de peristaltische bewegingen dus niet bewust versnellen of vertragen. Voedingsvezels en lichaamsbeweging stimuleren de darmperistaltiek, vooral in de dikke darm. Hierdoor verloopt de stoelgang goed.

In afbeelding 15 is het verteringsstelsel van de mens getekend. Het voedsel ondergaat in je darmkanaal allerlei bewerkingen. Het kauwen van voedsel met je gebit en het kneden en mengen van de voedselbrij door de darmperistaltiek noem je **mechanische vertering**. Hierdoor kunnen enzymen uit verteringssappen beter op het voedsel inwerken. De bewerking van voedsel door enzymen noem je **chemische vertering**.

▶ **Afb. 15** Het verteringsstelsel van de mens (schematisch).



▼ **Afb. 16** De slikreflex (schematisch).



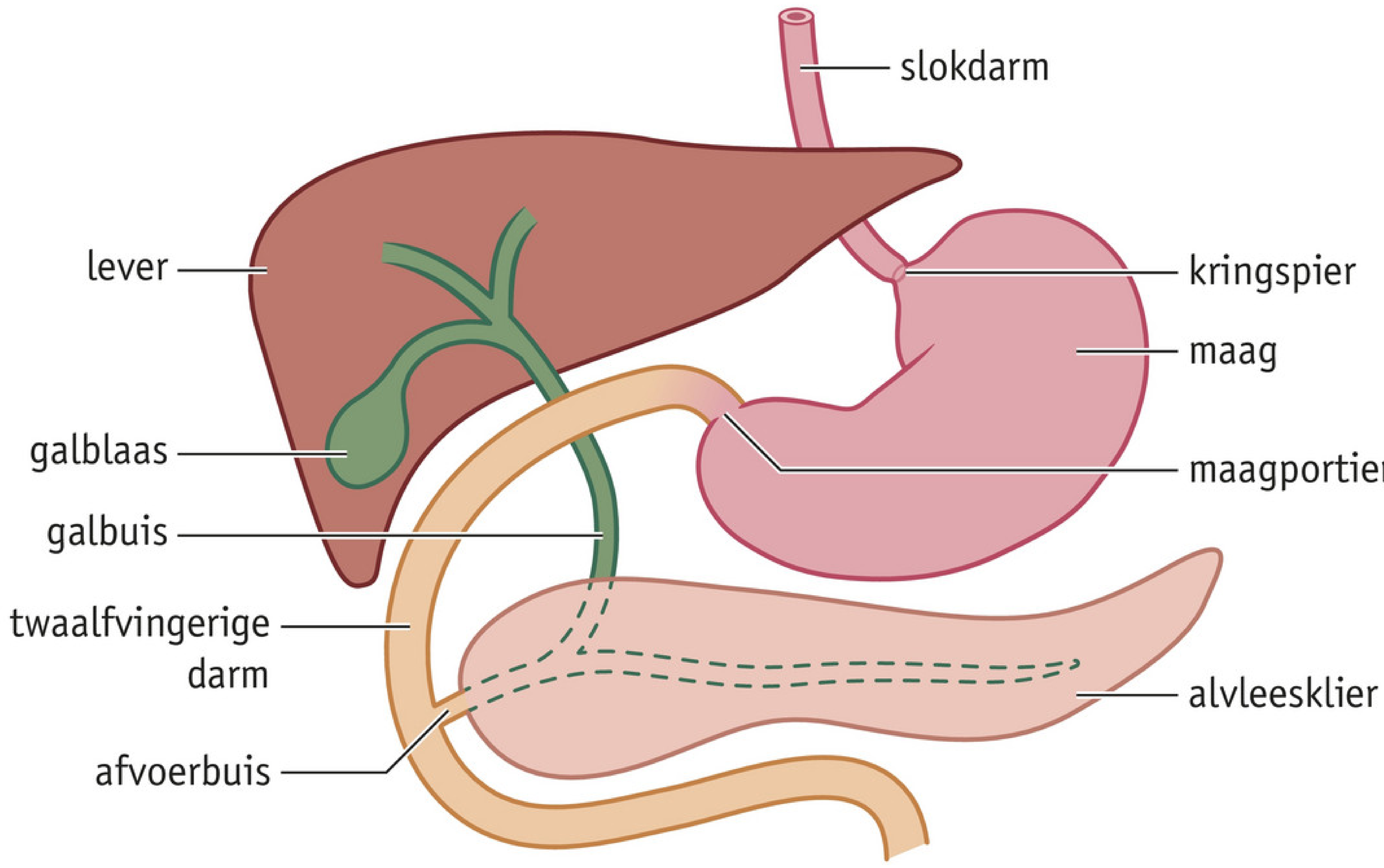
DE VERTERINGSORGANEN

Snijtanden en hoektanden gebruik je vooral voor het afbijten van stukken voedsel. Voedsel kauwen doe je met je kiezen. Door te kauwen verdeel je het voedsel in kleine stukjes, waardoor het totale oppervlak van het voedsel wordt vergroot. Ook meng je het voedsel met speeksel. De enzymen in speeksel kunnen daardoor goed op het voedsel inwerken en het inslikken van de voedselbrokken gaat gemakkelijker doordat speeksel slijmerig is. Met de tong duw je het gekauwde voedsel naar de keelholte. Voedsel in de keelholte veroorzaakt prikkels die de slikreflex in werking zetten. De neusholte wordt afgesloten met de **huig**. Tegelijk beweegt het **strottenhoofd** iets omhoog en het **strotklepje** kantelt naar achter. Daardoor wordt de toegang naar de luchtpijp afgesloten (zie afbeelding 16). Het voedsel kan dan alleen de **slokdarm** in.

Het slikken zet in de slokdarm peristaltische bewegingen in werking, zodat het voedsel naar de **maag** wordt getransporteerd. De maag heeft bij de ingang en uitgang een kringspier die de passage van voedsel reguleert. De kringspier tussen slokdarm en maag ontspant zich na het slikken, waardoor het voedsel in de maag terechtkomt. In de maag wordt het voedsel tijdelijk opgeslagen doordat de andere kringspier (de **maagportier**) de uitgang afsluit. Gemiddeld blijft een maaltijd drie tot vier uur in de maag zodat verteringssappen goed op het voedsel kunnen inwerken. Kliertjes in de wand van de maag voegen **maagsap** toe aan het ingeslikte voedsel. Maagsap bevat onder andere een enzym, zoutzuur (HCl) en slijm. Het zoutzuur zorgt voor een sterk zuur milieu in de maag. Dit doodt bacteriën die met het voedsel zijn meegekomen. Het slijm vormt een beschermende laag tegen de binnenzijde van de maagwand. Dit verhindert dat het maagsap de epitheelcellen van de maagwand aantast.

Van tijd tot tijd ontspant de maagportier zich. Een kleine hoeveelheid voedsel gaat dan door naar de **twaalfvingerige darm**. Dit is het eerste gedeelte van de dunne darm. In de twaalfvingerige darm monden de afvoerbuizen van de lever en de alvleesklier uit (zie afbeelding 17).

Afb. 17 De ligging van de maag, lever, galblaas, alvleesklier en twaalfvingerige darm (schematisch).

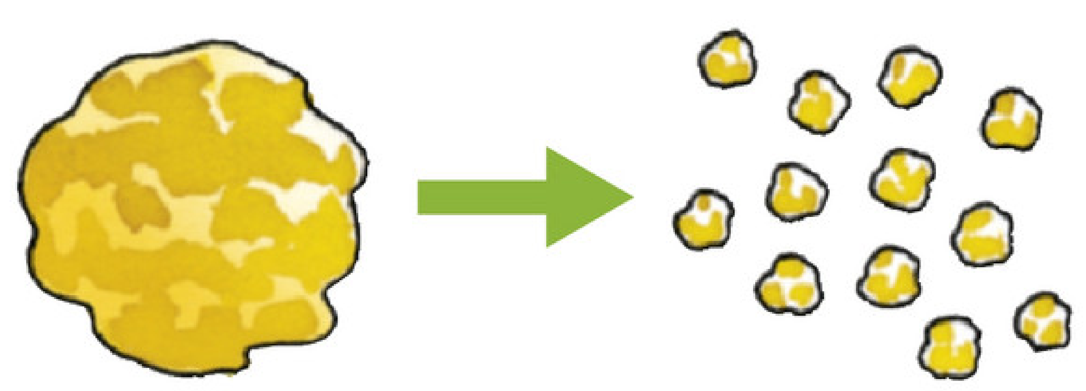


GAL EN DARMSAP

De **lever** produceert **gal**. Gal wordt tijdelijk opgeslagen in de **galblaas**. De galblaas geeft gal af via de galbuis als vethoudend voedsel de wand van de twaalfvingerige darm passeert. Gal bevat galkleurstoffen en galzouten. De **galkleurstoffen** zijn afbraakproducten van dode rode bloedcellen. Ze geven de bruine kleur aan de ontlasting. De **galzouten** verdelen grote vetdruppels in het voedsel in kleine druppeltjes. Dit heet **emulgeren** (zie afbeelding 18). Door emulgeren wordt het totale oppervlak van de vetdruppels sterk vergroot. Dat is nodig, omdat vetten en oliën niet mengen met water maar grote druppels vormen (zie afbeelding 19).

De **alvleesklier** (**pancreas**) produceert **alvleessap**. In de wand van de dunne darm bevinden zich kliertjes die darmsap afscheiden. Alvleessap en darmsap bevatten verschillende enzymen.

Afb. 18 Gal emulgeert vetten.



grote vetdruppels

vetdruppels geëmulgeerd in kleine vetdruppeltjes

Afb. 19 Water met vetdruppels.



opdrachten

11 a Noem drie functies van het kauwen van voedsel en geef aan wat het effect ervan is.

b Als je in de lach schiet terwijl je aan het drinken bent, kun je je verslikken en kan er ook drank in je neusholte terechtkomen. Leg uit hoe dit gebeurt.

12 Wat is het nut van emulgeren voor de vertering van vetten?

13 Afbeelding 20 geeft weer hoe een voedselbrok wordt voortgeduwd door darmperistaltiek.

a Door veel plantaardig voedsel te eten, kun je een verstopping (constipatie) voorkomen. Leg dat uit.

b Welke spieren in de wand van het darmkanaal trekken zich samen op de plaatsen P in de afbeelding? En welke spieren op de plaatsen Q?

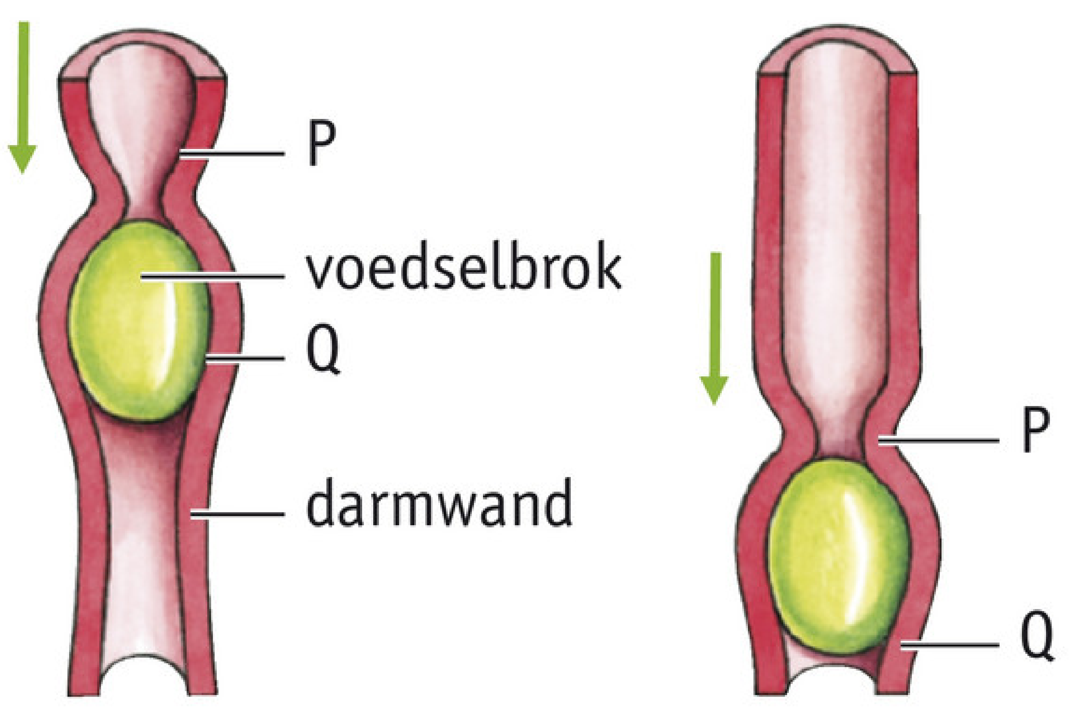
c Kan er voedsel van je mond in je maag komen als je op je hoofd staat? Leg je antwoord uit.

d Door voedsel onhygiënisch te bewaren of te bereiden, kunnen ziekmakende micro-organismen in het voedsel terechtkomen en zich snel vermenigvuldigen. Sommige van deze micro-organismen produceren afvalstoffen die giftig voor ons zijn. De peristaltiek in de dunne en dikke darm vindt plaats in een frequentie van tien tot dertig samentrekkingen per minuut. Giftige stoffen in de voedselbrij kunnen een veel snellere en krachtigere peristaltiek veroorzaken.
Hoe merk je dat de darmperistaltiek sneller en krachtiger is?

e Wat is het nut van een snellere en krachtigere darmperistaltiek wanneer de voedselbrij giftige stoffen bevat?

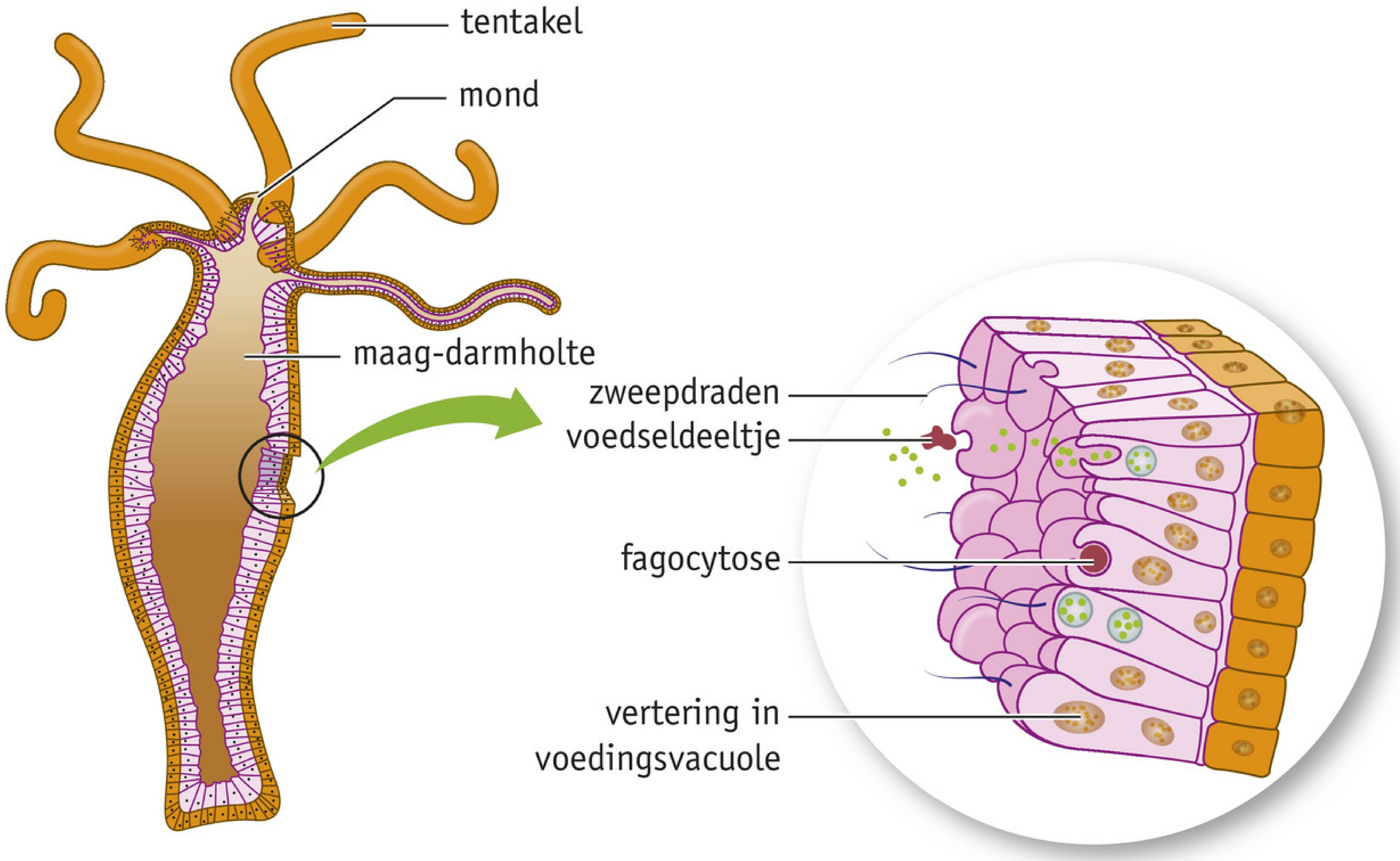
f Ook door overgeven (braken) kun je giftige stoffen uit je lichaam verwijderen. Wanneer receptoren in het braakcentrum in de hersenstam worden geprikkeld door chemische stoffen in het bloed, gaan er impulsen naar de kringspieren en lengtespieren in het darmkanaal.
Welke gevolgen hebben deze impulsen voor de darmperistaltiek?

▼ **Afb. 20** Darmperistaltiek.



VERTERING BIJ DIEREN

De meeste heterotrofe organismen kunnen vrij bewegen en hebben aanpassingen om voedsel te bemachtigen, op te nemen en te verwerken.
Sommige eencellige organismen nemen voedsel op door **fagocytose**: het instulpen van het celmembraan en het afsnoeren van blaasjes. Bij amoeben en pantoffeldiertjes versmelten deze blaasjes (**voedingsvacuolen**) met lysosomen, waarin zich verteringsenzymen bevinden. De verteringsproducten die dan ontstaan, worden via het membraan van de voedingsvacuole opgenomen in het cytoplasma (celplasma). Bij deze organismen vindt de vertering in de cel plaats. Dit noem je **intracellulaire vertering**.
Eenvoudige meercellige organismen hebben een ingewikkeldere bouw en spijsverteringsstelsel. De vertering vindt meestal plaats in een speciale ruimte in het lichaam: de **maag-darmholte**. Dit is een holte met maar één opening die mond en anus tegelijk is (zie afbeelding 21). Dit noem je **extracellulaire vertering**.



Afb. 21 Lengtedoorsnede van een zoetwaterpoliep (hydra).

Complexer gebouwde organismen, zoals rondwormen, hebben een darmkanaal met een mond en een anus. De ingang van het darmkanaal is bij deze dieren een orgaan om voedsel mee te grijpen en naar binnen te werken. Een doorlopend spijsverteringskanaal maakt eenrichtingsverkeer van het voedsel mogelijk. Hierdoor kan het voedsel veel efficiënter worden bewerkt en verwerkt. De vertering vindt extracellulair plaats in het darmkanaal. De cellen van het darmkanaal nemen alleen de bruikbare eindproducten van de vertering op.

Bij veel dieren bestaat het darmkanaal uit gespecialiseerde compartimenten. In elk compartiment worden bepaalde voedingsstoffen verteerd en opgenomen, doordat de omstandigheden daar optimaal zijn voor de bijbehorende verteringsenzymen.

opdrachten

14 In de evolutie van vogels is de snavel de vervanger geworden van kaken en tanden. De snavel bestaat uit hoornachtig materiaal en de vorm van de snavel is aangepast aan het voedselpatroon.

a Leg uit dat het voor een vogel een voordeel is om een snavel te hebben in plaats van kaken met tanden.

b Sommige vogelsoorten slikken steentjes in die terechtkomen in de spiermaag.
Leg uit waarom ze dat doen.

15 Een spin spuit gif in zijn prooi om die te verlammen. Het gif heeft ook een sterk verterende werking waardoor de spin de vloeibaar geworden bestanddelen na een tijdje kan opzuigen.
Leg uit dat het maag-darmkanaal van een spin relatief klein en kort is.

16 Afbeelding 21 is een tekening van de lengtedoorsnede van een zoetwaterpoliep.

a Vindt vertering bij een zoetwaterpoliep intracellulair of extracellulair plaats? Leg je antwoord uit.

b In een darmkanaal met gespecialiseerde compartimenten heeft elk compartiment optimale omstandigheden voor bepaalde verteringsenzymen.
Wat is dan het nadeel van het verteren van voedsel in één maag-darmholte?

CONTEXT Wetenschap

Overleven op bamboe

▼ **Afb. 22** Onverteerde resten uit poep.



In afbeelding 22 zie je de onverteerde resten uit poep. De reuzenpanda van wie de poep afkomstig is, heeft duidelijk bamboe gegeten. Reuzenpanda's eten dagelijks tot wel een derde van hun gewicht aan bamboe.
Bamboe is een vezelige grassoort. Voor reuzenpanda's zijn de belangrijkste koolhydraten in bamboe cellulose en hemicellulose. Reuzenpanda's verteren ongeveer 8% van de cellulose en 27% van de hemicellulose. Dat is niet bijzonder veel. De meeste planteneters hebben extra magen en lange darmen, zodat de vertering lang kan duren en darmbacteriën meer gelegenheid krijgen de taaie plantenvezels te verteren. Maar een reuzenpanda is eigenlijk een roofdier met het korte en simpele darmstelsel van een vleeseter. Reuzenpanda's hebben niet eens vezelafbrekende bacteriën in hun darmen. Microbiologen die het DNA van darmbacteriën in pandapoep onder de loep namen, zagen de darmflora van een vleeseter. Om toch aan voldoende voedingsstoffen te komen uit de bamboe, eten reuzenpanda's soms wel veertien uur per dag.

opdracht

17 a Omdat reuzenpanda's in relatief koude gebieden leven waar het vaak sneeuwt, is een tekort aan voedsel al snel fataal. Leg dat uit.

b Een volwassen reuzenpanda weegt gemiddeld 120 kg en kan wel honderd drollen per dag produceren. Bamboe bestaat uit 50% cellulose, 20% hemicellulose, 23% lignine en 7% overige stoffen.
Bereken hoeveel onverteerde bamboe een reuzenpanda met een gemiddeld gewicht uitscheidt via zijn ontlasting als hij een derde van zijn gewicht aan bamboe eet.

c Leptine is een verzadigingshormoon dat aan de hersenen het signaal geeft dat je voldoende hebt gegeten. Het verzadigingsgen is bij panda's verminderd actief. Hierdoor wordt er minder leptine geproduceerd.
Leg uit dat dit het voor reuzenpanda's gemakkelijker maakt om te overleven op een bamboedieet.

d Reuzenpanda's zijn bijzonder sloom. Aanvankelijk dachten wetenschappers dat de stofwisseling van reuzenpanda's zo laag is, omdat hun bamboedieet weinig energie levert. Uit DNA-onderzoek bleek dat er sprake is van een mutatie in het DUOX2-gen. Hierdoor is de schildklierhormoonspiegel bij de reuzenpanda erg laag.
Leg uit dat dit het voor reuzenpanda's gemakkelijker maakt om te overleven op een bamboedieet.

Leerdoel
– Je kunt beschrijven waar en op welke wijze voedingsstoffen worden verteerd in het darmkanaal en welke factoren daarop van invloed zijn.

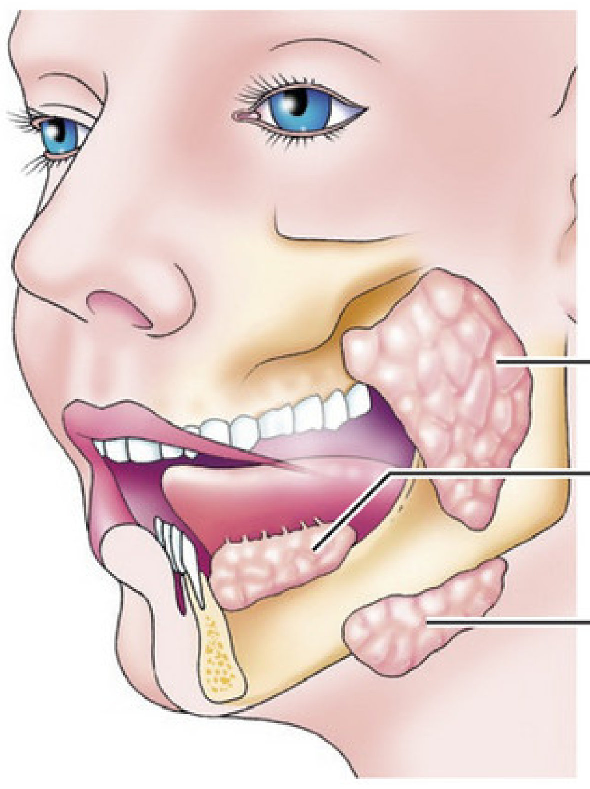
3 Chemische vertering

Je kunt je verteringsstelsel beschouwen als een sloopbedrijf. Het voedsel dat je binnenkrijgt, wordt tot steeds kleinere en eenvoudigere brokstukken geknipt, zodat je darmen die uiteindelijk kunnen opnemen.

Het verteringsproces
Niet alle voedingsstoffen in je voedsel hoeven te worden afgebroken. Monosachariden, water, mineralen en vitaminen kunnen zonder vertering in het bloed worden opgenomen. Eiwitten, disachariden, polysachariden en vetten moeten eerst worden verteerd. Door vertering worden eiwitmoleculen afgebroken tot afzonderlijke aminozuurmoleculen. Moleculen van polysachariden en disachariden worden gesplitst tot monosachariden. Vetmoleculen worden verteerd tot afzonderlijke glycerolmoleculen en vetzuurmoleculen.
De afbraak van voedingsstoffen tot losse bouwstenen gebeurt met behulp van verschillende **verteringsenzymen** voor koolhydraten, eiwitten en vetten. De werking van enzymen wordt beïnvloed door de pH en de temperatuur. Voor alle verteringsenzymen is de lichaamstemperatuur (37 °C) de optimale temperatuur. Het pH-optimum verschilt per enzym.

Speeksel en maagsap
De vertering begint in je mond. Drie paar speekselklieren produceren één tot anderhalve liter speeksel per etmaal (zie afbeelding 23). Het autonome zenuwstelsel regelt de speekselafgifte. Prikkeling van je zintuigen doordat je voedsel ziet of ruikt, kan leiden tot verhoogde speekselproductie. Je gaat dan ‘watertanden’.

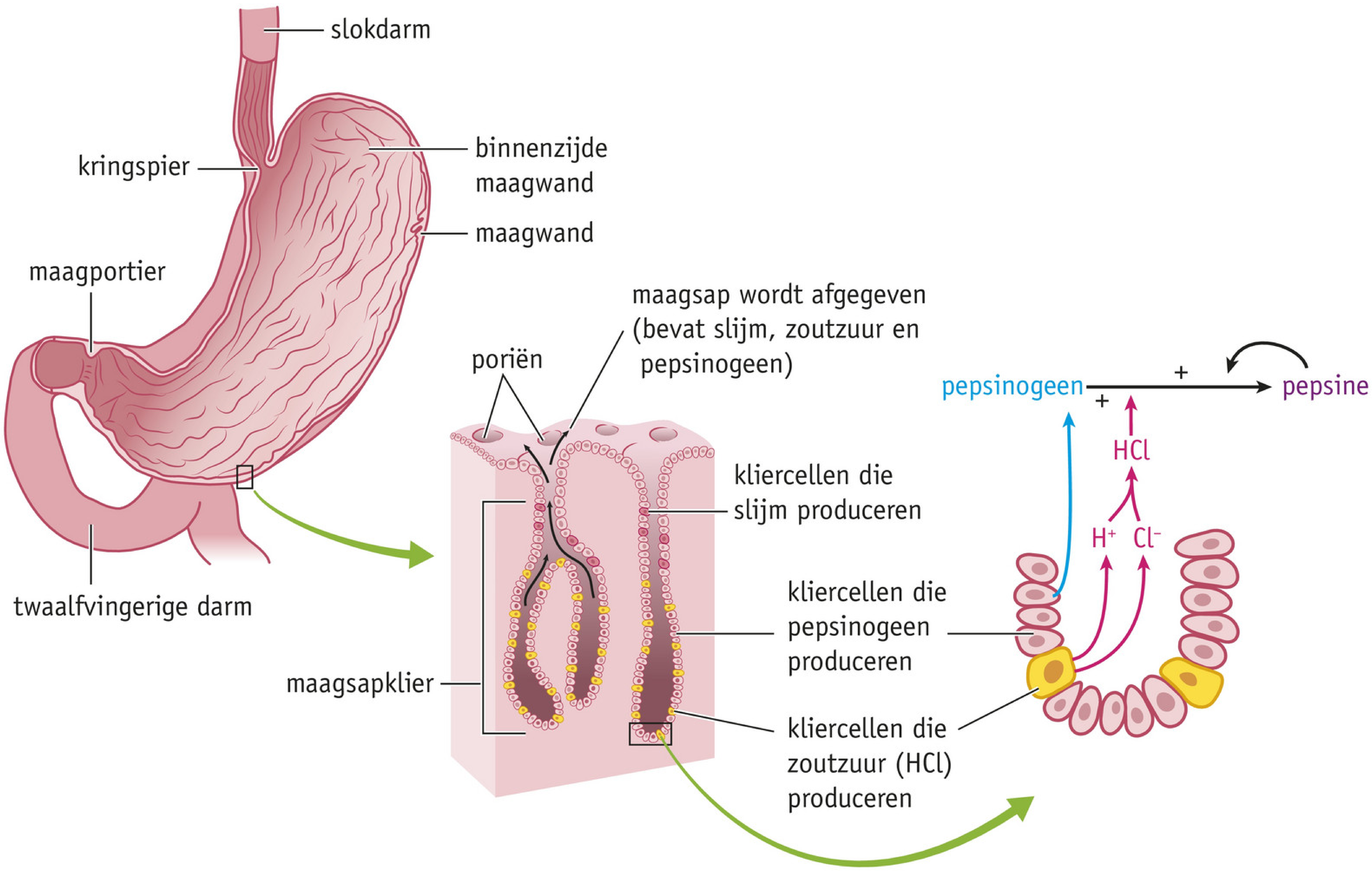
▼ **Afb. 23** De ligging van de speekselklieren.



Speeksel bevat het enzym **amylase**, dat een deel van het zetmeel in het voedsel afbreekt tot **maltose** (een disacharide). Amylase is werkzaam bij een pH van ongeveer 6 tot 7,5. Het pH-optimum is 6,6. Als voedsel in de maag komt, dringt het zure maagsap geleidelijk in de voedselbrij door. Daardoor daalt de pH van de voedselbrij langzaam. Het gevolg hiervan is dat de amylase die met de voedselbrij mee in de maag is terechtgekomen, na enige tijd onwerkzaam wordt.

Klieren in de maagwand produceren de bestanddelen van maagsap (zie afbeelding 24). Een maagsapklier bestaat uit verschillende typen cellen. Eén type kliercellen produceert H^+-ionen en Cl^--ionen, andere cellen produceren slijm en weer andere pepsinogeen. **Pepsinogeen** is een inactief pro-enzym. Na afscheiding in de maag vormen H^+-ionen en Cl^--ionen zoutzuur (HCl opgelost in water). Onder invloed van zoutzuur wordt het inactieve pepsinogeen geactiveerd tot het enzym **pepsine**. Pepsine activeert zelf ook pepsinogeen. Hierdoor is het activeren van pepsinogeen een proces dat zichzelf versterkt. Dit is een voorbeeld van positieve terugkoppeling.
Onder invloed van het enzym pepsine worden eiwitmoleculen gesplitst. De verteringsproducten zijn enkele nog vrij lange aminozuurketens: polypeptiden. Pepsine is alleen werkzaam in een sterk zuur milieu. Het pH-optimum is 2,5.

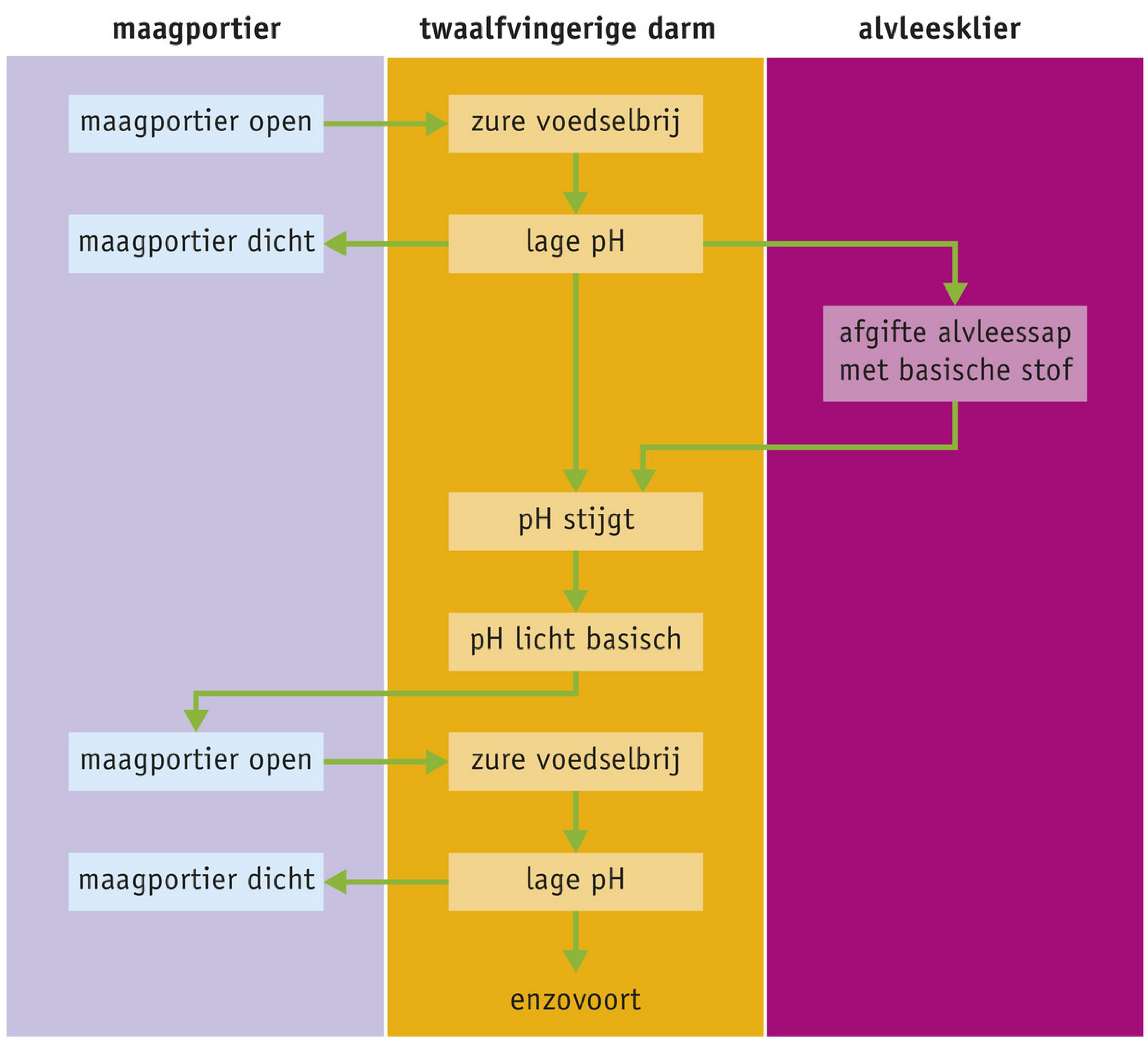
▼ **Afb. 24** De maag en de productie van maagsap (schematisch).



ALVLEESSAP

Het openen en sluiten van de maagportier is afhankelijk van de pH in de twaalfvingerige darm (zie afbeelding 25). Als een kleine hoeveelheid zure voedselbrij uit de maag in de twaalfvingerige darm komt, wordt de pH in de twaalfvingerige darm laag.

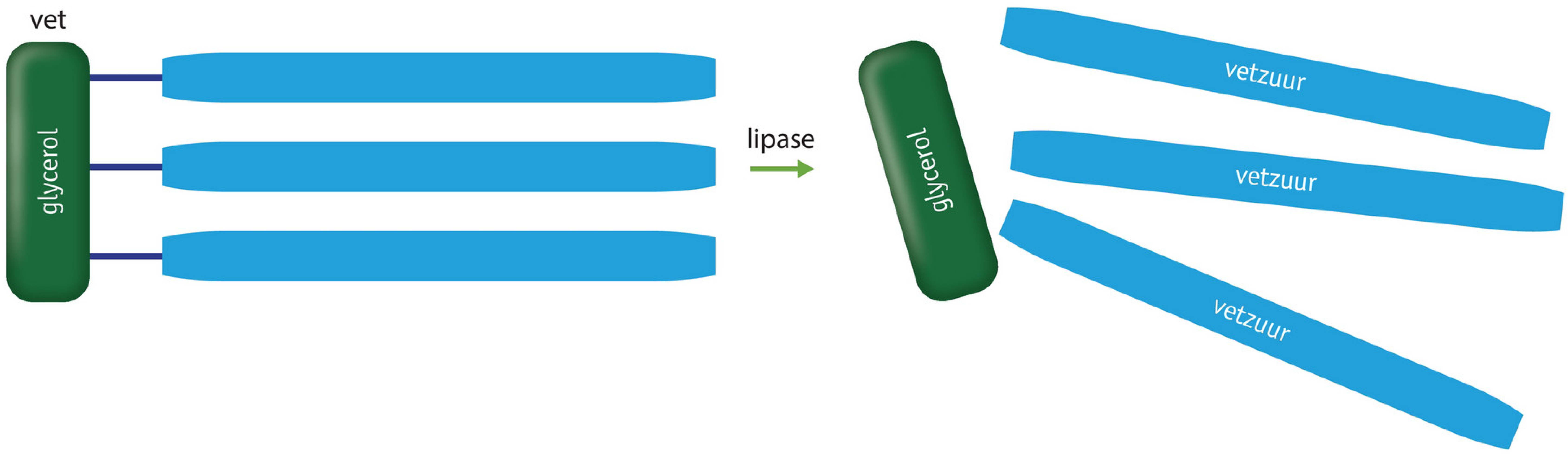
▶ **Afb. 25** Regelmechanismen onder invloed van de pH in de twaalfvingerige darm.



Het gevolg is dat de kringspier van de maagportier zich samentrekt. De maagportier wordt daardoor gesloten. Alvleessap uit de alvleesklier bevat een basische stof, waardoor de pH in de twaalfvingerige darm weer stijgt. De voedselbrij in de twaalfvingerige darm wordt licht basisch (pH 8 à 9). Het gevolg is dat de kringspier van de maagportier zich ontspant. Er wordt dan weer een nieuwe hoeveelheid zure voedselbrij toegelaten tot de twaalfvingerige darm.

Alvleessap bevat onder andere de enzymen amylase, trypsine, peptidasen en lipase. Amylase uit de alvleesklier zorgt voor verdere afbraak van zetmeel tot maltose. **Trypsine** splitst moleculen van lange polypeptiden tot korte polypeptiden. **Peptidasen** breken deze verteringsproducten verder af tot **dipeptiden** en **tripeptiden** (peptiden met twee of drie aminozuren). **Lipase** splitst vetmoleculen tot één glycerolmolecuul en drie vetzuurmoleculen (zie afbeelding 26).

▼ **Afb. 26** De vertering van een vetmolecuul onder invloed van lipase (schematisch).

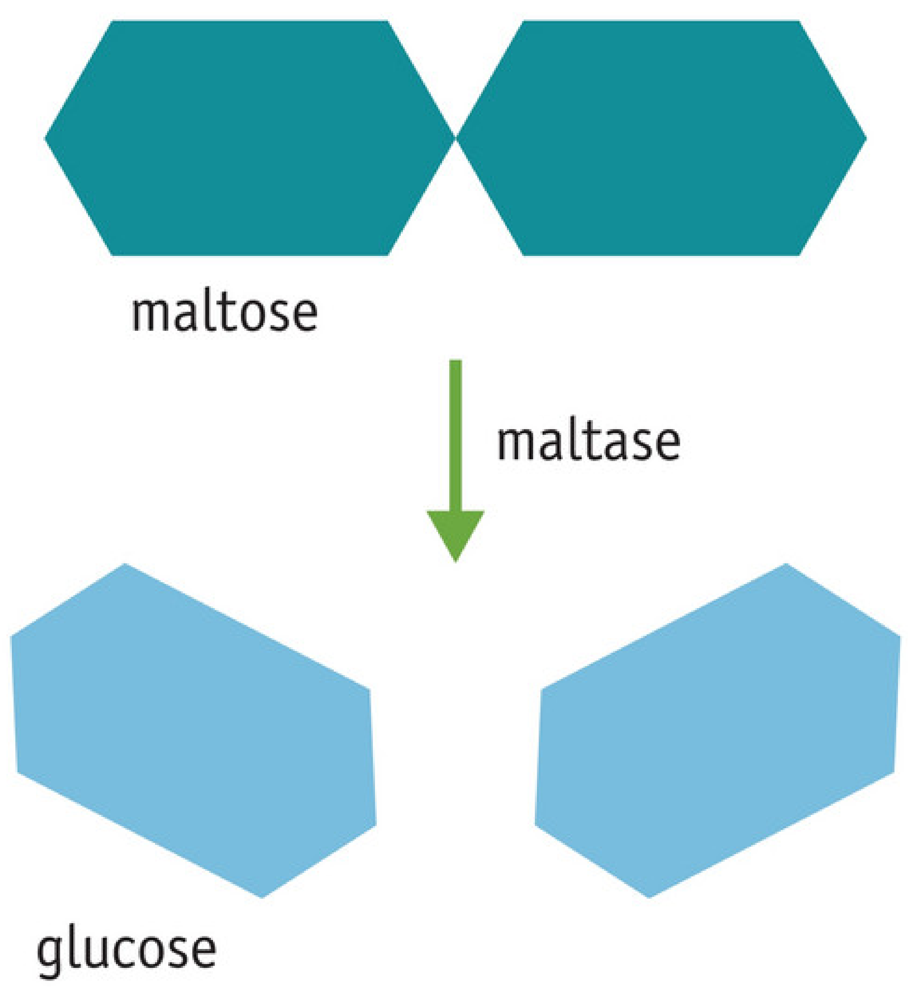


De meeste enzymen in alvleessap hebben een pH-optimum van ongeveer 8. De alvleesklier geeft alvleessap af als de pH in de twaalfvingerige darm laag is, dus als er voedsel vanuit de maag in de twaalfvingerige darm is gekomen (zie afbeelding 25). De galblaas geeft dan gal af. Door de basische stof in alvleessap kunnen de enzymen uit de alvleesklier in de twaalfvingerige darm werkzaam zijn. De gal zorgt ervoor dat lipase goed kan inwerken op vetten.

DARMSAP

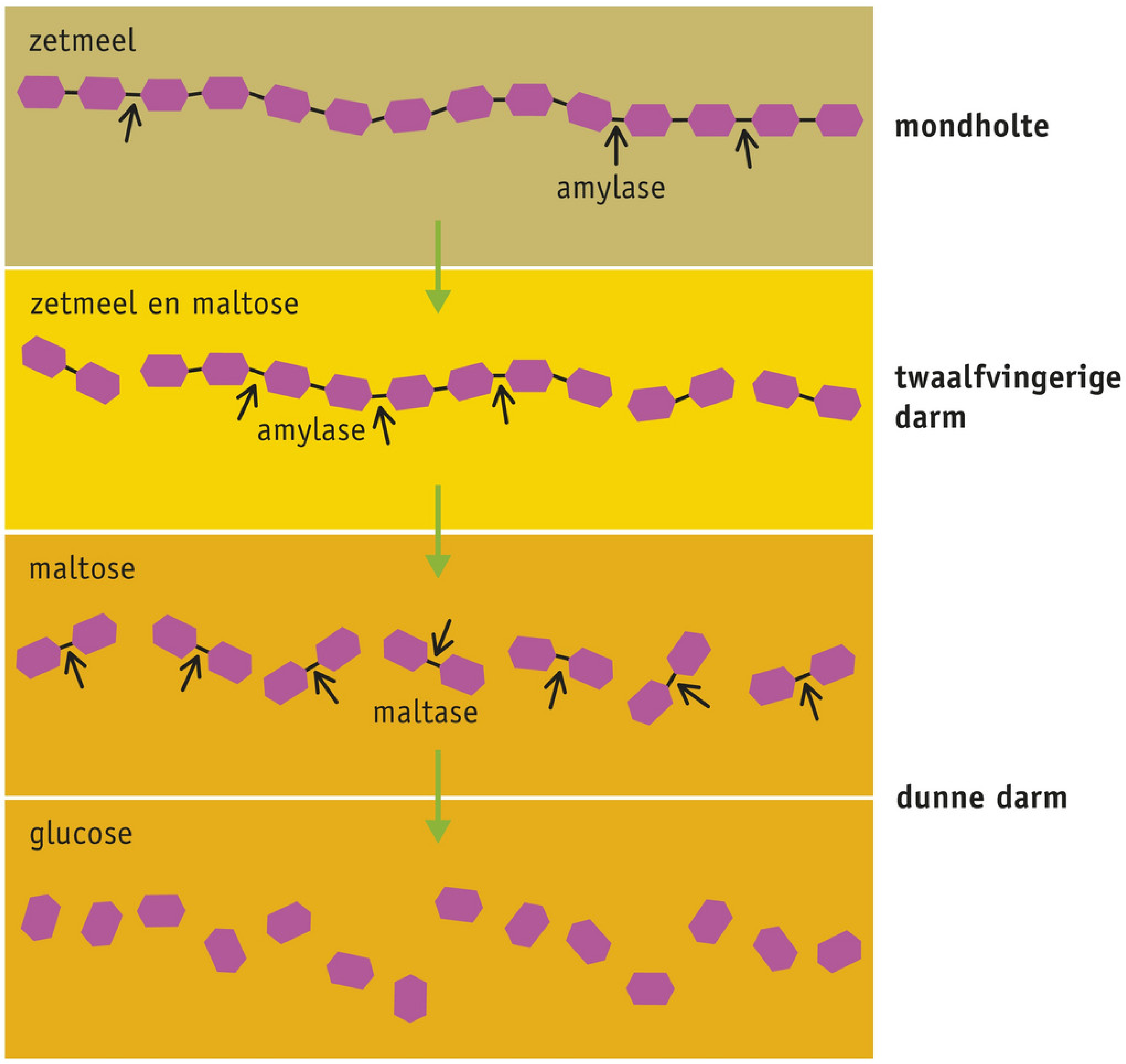
Door de vertering van vetten komen er steeds meer vetzuren vrij in de twaalfvingerige darm. Hierdoor daalt de pH van de voedselbrij langzaam. Als de voedselbrij in de dunne darm aankomt, is de pH ongeveer 7.
In de dunne darm wordt de vertering van voedingsstoffen voltooid. Darmsap bevat onder andere de enzymen maltase, sacharase, lactase en peptidasen. **Maltase** splitst een maltosemolecuul in twee glucosemoleculen (zie afbeelding 27).

▼ **Afb. 27** De vertering van een maltosemolecuul onder invloed van maltase (schematisch).

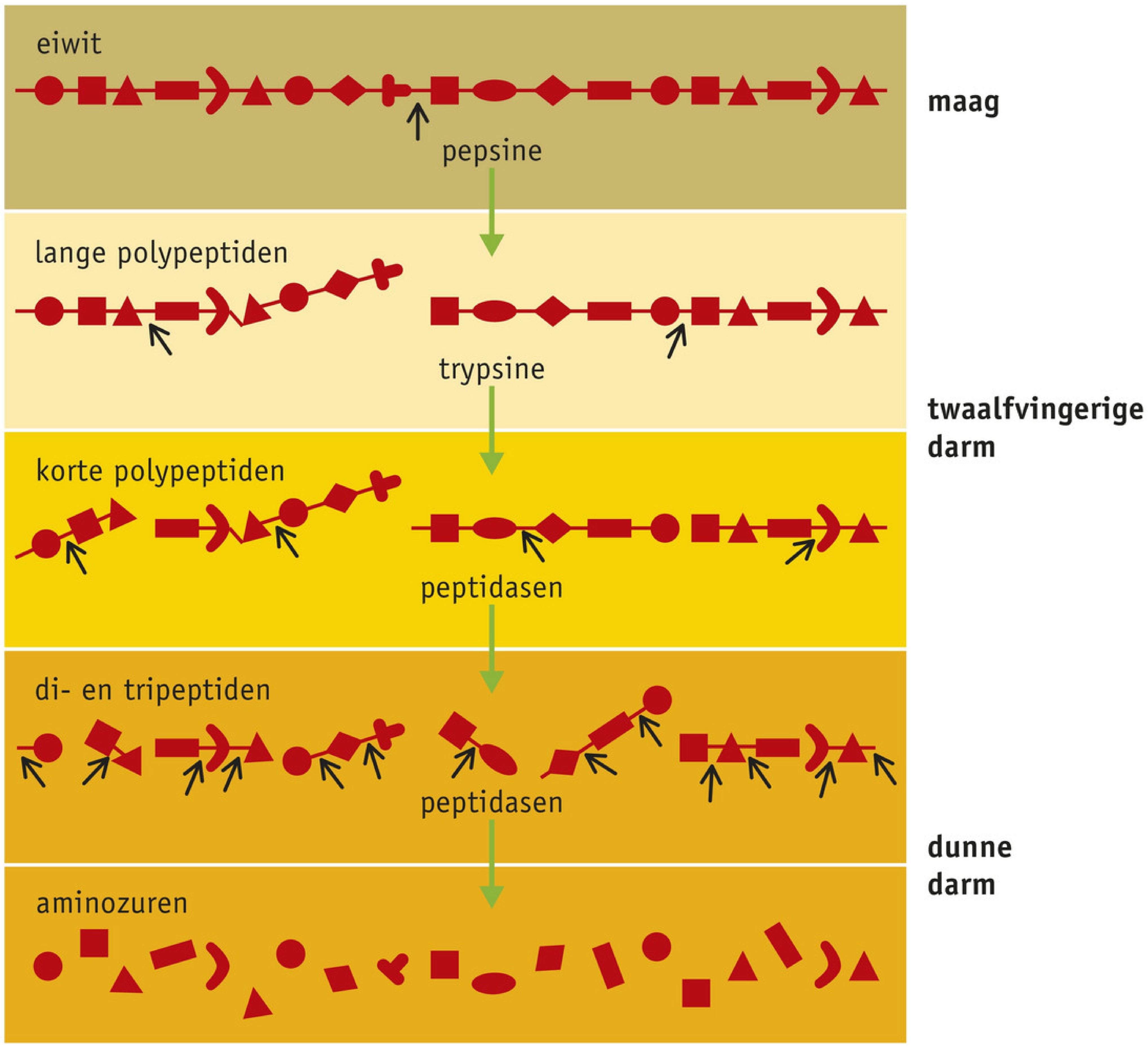


Hiermee is de vertering van zetmeel voltooid. In afbeelding 28 is de vertering van zetmeel vanaf de mondholte tot aan de dunne darm schematisch weergegeven. **Sacharase** verteert sacharose (riet- of bietsuiker) en **lactase** verteert lactose (melksuiker).
In afbeelding 29 is de vertering van een eiwit vanaf de maag tot aan de dunne darm schematisch weergegeven. Peptidasen in het darmsap breken de di- en tripeptiden af tot aminozuren. Hiermee is de vertering van eiwitten voltooid.

▶▶ PRACTICUMOPDRACHT 3 EN 4



▶ **Afb. 28** De vertering van zetmeel (schematisch).



▶ **Afb. 29** De vertering van een eiwit (schematisch).

opdrachten

18 a Welke twee functies heeft het zoutzuur in maagsap?

b De maagportier opent zich als de voedselbrij in de twaalfvingerige darm licht basisch is geworden.
Waardoor wordt de voedselbrij in de twaalfvingerige darm licht basisch?

c In de twaalfvingerige darm stijgt de pH van de voedselbrij.
Welke stoffen veroorzaken in de dunne darm weer een lichte daling van de pH?

19 a Kan in de slokdarm vertering plaatsvinden? Leg je antwoord uit.

b Pepsine kan met de voedselbrij mee vanuit de maag via de twaalfvingerige darm in de dunne darm terechtkomen.
Is de pepsine dan nog werkzaam? Leg je antwoord uit.

c De werking van de amylase uit speeksel stopt na enige tijd in de maag, doordat de pH van de voedselbrij te laag is geworden. Maar ook pepsine zorgt ervoor dat amylase na enige tijd niet meer werkt. Leg dat uit.

d Maagsapklieren scheiden H^+-ionen, Cl^--ionen en pepsinogeen af.
Leg uit waarom de maagsapklieren geen zoutzuur en pepsine kunnen afscheiden.

20 In afbeelding 30 is het verband tussen de pH en de activiteit van pepsine en lipase in een diagram weergegeven.

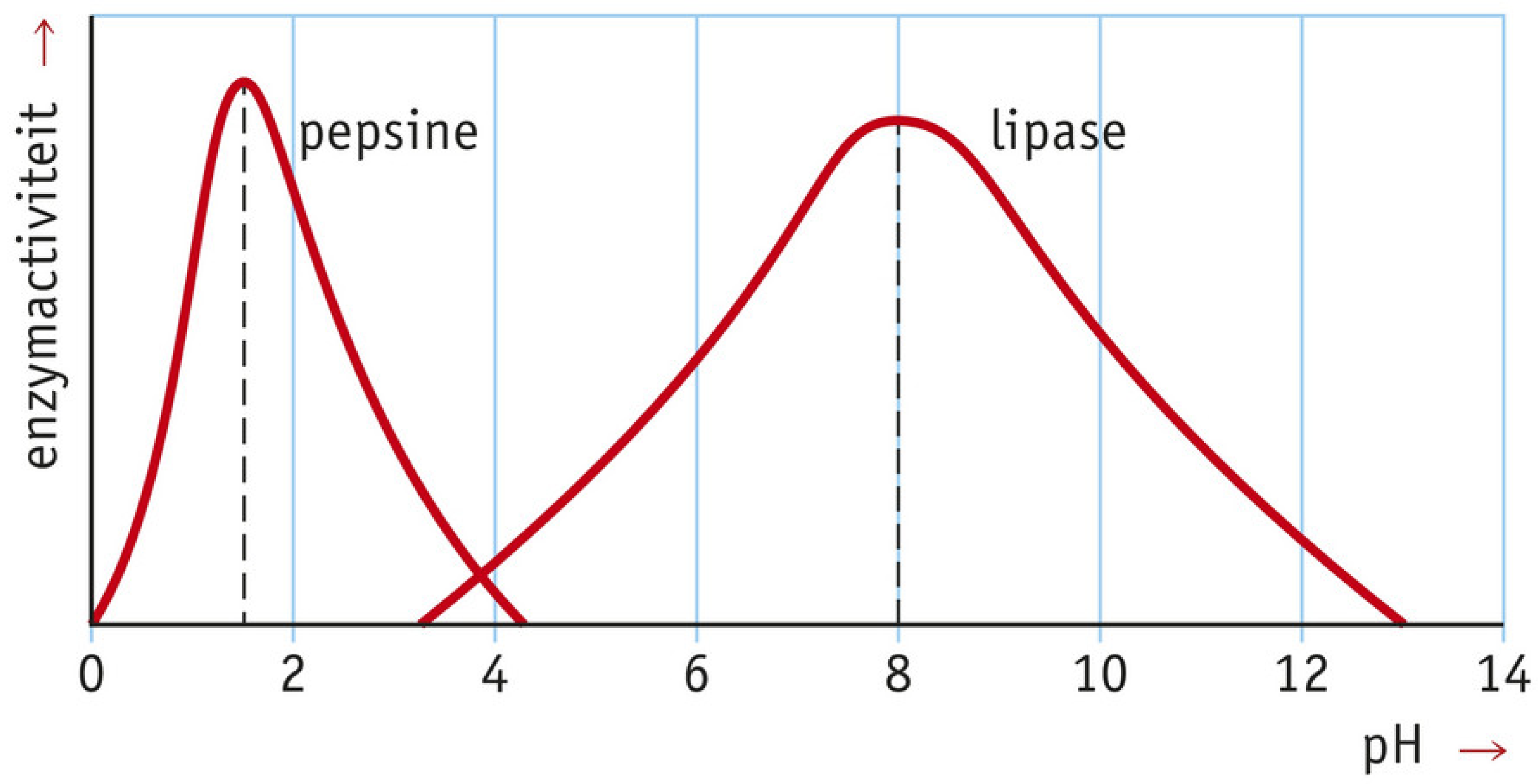
a Wat is de minimum-pH van pepsine?

b Wat is de maximum-pH van lipase?

c Is er een pH waarbij pepsine en lipase beide werkzaam zijn? Zo ja, welke?

d Welk van beide enzymen is het gevoeligst voor veranderingen in de pH? Leg je antwoord uit.

▶ **Afb. 30** Het verband tussen de pH en de activiteit van pepsine en lipase.



21 Bij het grootste deel van de wereldbevolking neemt na het derde levensjaar de productie van lactase in de dunne darm af. Lactose in melkproducten kan dan niet meer worden verteerd. In de dikke darm breken bacteriën van de darmflora de lactose af, waardoor klachten kunnen ontstaan als buikpijn, krampen, diarree, winderigheid en een opgeblazen gevoel. Dit noem je lactose-intolerantie.
Zure melkproducten (karnemelk, kwark, yoghurt) bevatten bacteriën die lactase produceren.

a Leg uit waardoor mensen met lactose-intolerantie zure melkproducten vaak beter verdragen.

b Als je wilt weten of je lactose-intolerant bent, kun je dat laten onderzoeken. Je moet dan eerst een bepaalde hoeveelheid lactose innemen. Vervolgens wordt je bloedsuikerspiegel na een bepaalde tijd gemeten. Wanneer je bloedsuikerspiegel niet is gestegen, ben je waarschijnlijk lactose-intolerant. Leg dat uit.

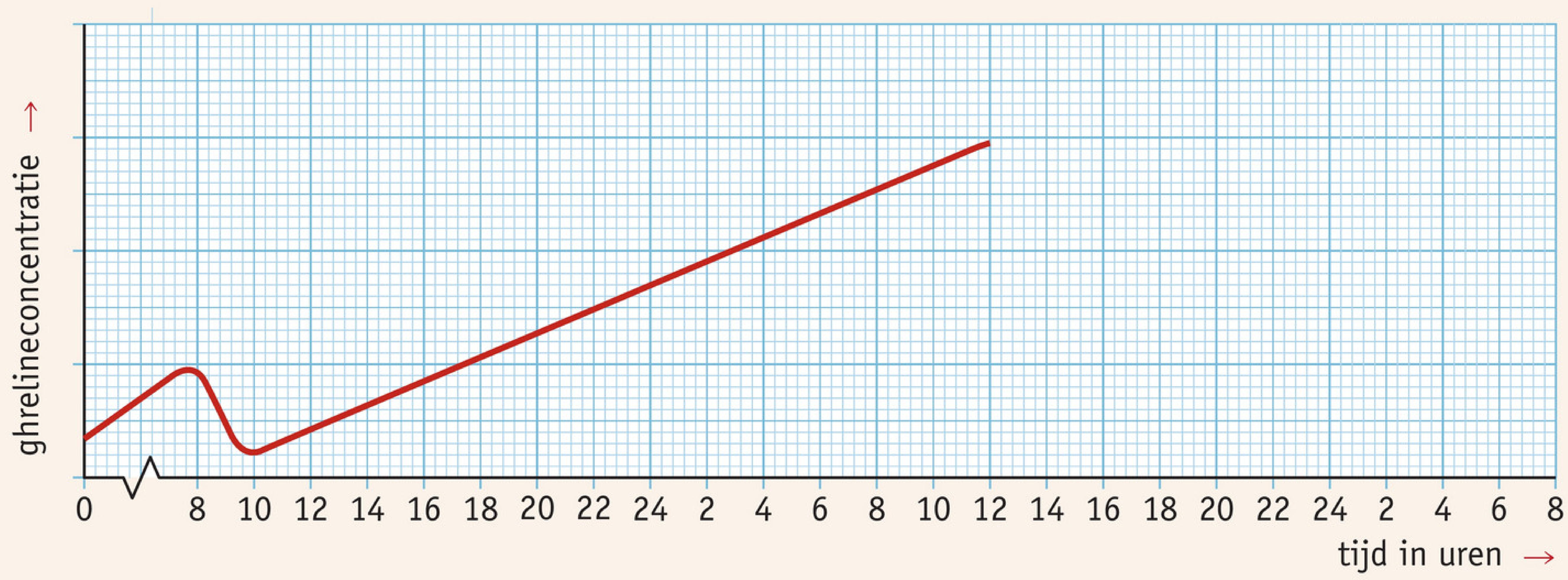
22 a In tegenstelling tot de meeste insecten kan een huisvlieg (*Musca domestica*) geen voedsel verkleinen met kaken. Hij zuigt vloeibaar voedsel op met een slurfachtige zuigsnuit. Op vast voedsel brengt een huisvlieg eerst meerdere keren speeksel aan.
Leg uit waarom de huisvlieg dit doet.

b Zeesterren hebben een maag met kliercellen. Ze kunnen hun maag uitstulpen en daarmee via een kiertje tussen de kleppen een mossel binnendringen.
Wat moet er vervolgens gebeuren om de voedingsstoffen van de mossel op te kunnen nemen?

CONTEXT Leefwereld

Honger maakt impulsief

Neem nooit een belangrijke beslissing als je honger hebt. Het hongerhormoon ghreline heeft namelijk een negatief effect op je besluitvorming en je impulscontrole. Ghreline is het enige bekende hormoon in het verteringsstelsel dat de eetlust opwekt en daardoor de voedselinname bevordert. Het wordt vooral afgescheiden door cellen in de maagwand. De concentratie ghreline neemt 's nachts en voor een maaltijd toe en na een maaltijd af. Wanneer ghreline bindt aan ghrelinereceptoren, versturen die signalen naar de hypothalamus. De hypothalamus zorgt voor het hongergevoel en bereidt het lichaam voor op het voedsel dat komen gaat. Dat merk je aan een verhoogde speekselafscheiding en een toename van de darmperistaltiek.
Ghreline blijkt ook invloed te hebben op andere delen van de hersenen. Bij een verhoogde concentratie ghreline is het daardoor lastig om een behoefte uit te stellen of een reactie te onderdrukken. Je gaat dan sneller over tot een impulsieve keuze of een impulsieve actie.



▶ **Afb. 31** Het verloop van de ghreline-concentratie.

opdracht

23 a Zal de ghrelinesecretie na een maagverkleining dalen of stijgen? Leg je antwoord uit.

b Het eten van gemberwortel blijkt de eetlust te vergroten.
Welke invloed heeft het eten van gemberwortel op de ghrelineproductie? Leg je antwoord uit.

c Uit onderzoek is gebleken dat je beter geen boodschappen kunt doen als je honger hebt. Je koopt dan niet alleen meer eten, maar ook niet-eetbare producten belanden gemakkelijker in je mandje. Leg uit hoe dat komt.

d In afbeelding 31 is een grafiek getekend waarin wordt aangegeven hoe de ghrelineconcentratie verandert als iemand 27 uur lang niet eet.
Wanneer heeft deze persoon voor het laatst gegeten?

e Neem de grafiek over en geef het verdere verloop van de ghrelineconcentratie weer, als de proefpersoon met de lunch van dag 2 (13.00 uur) weer normaal gaat eten, om 18.00 uur zijn avondeten gebruikt en op dag 3 weer normaal ontbijt.

f Een stof in cannabis kan bij een cannabisgebruiker een intens hongergevoel (vreetkick) veroorzaken. Ook wanneer die een gevulde maag heeft.
Leg uit hoe dat mogelijk is.

Leerdoel
– Je kunt beschrijven waar en op welke wijze voedingsstoffen worden opgenomen in het darmkanaal en welke factoren daarop van invloed zijn.

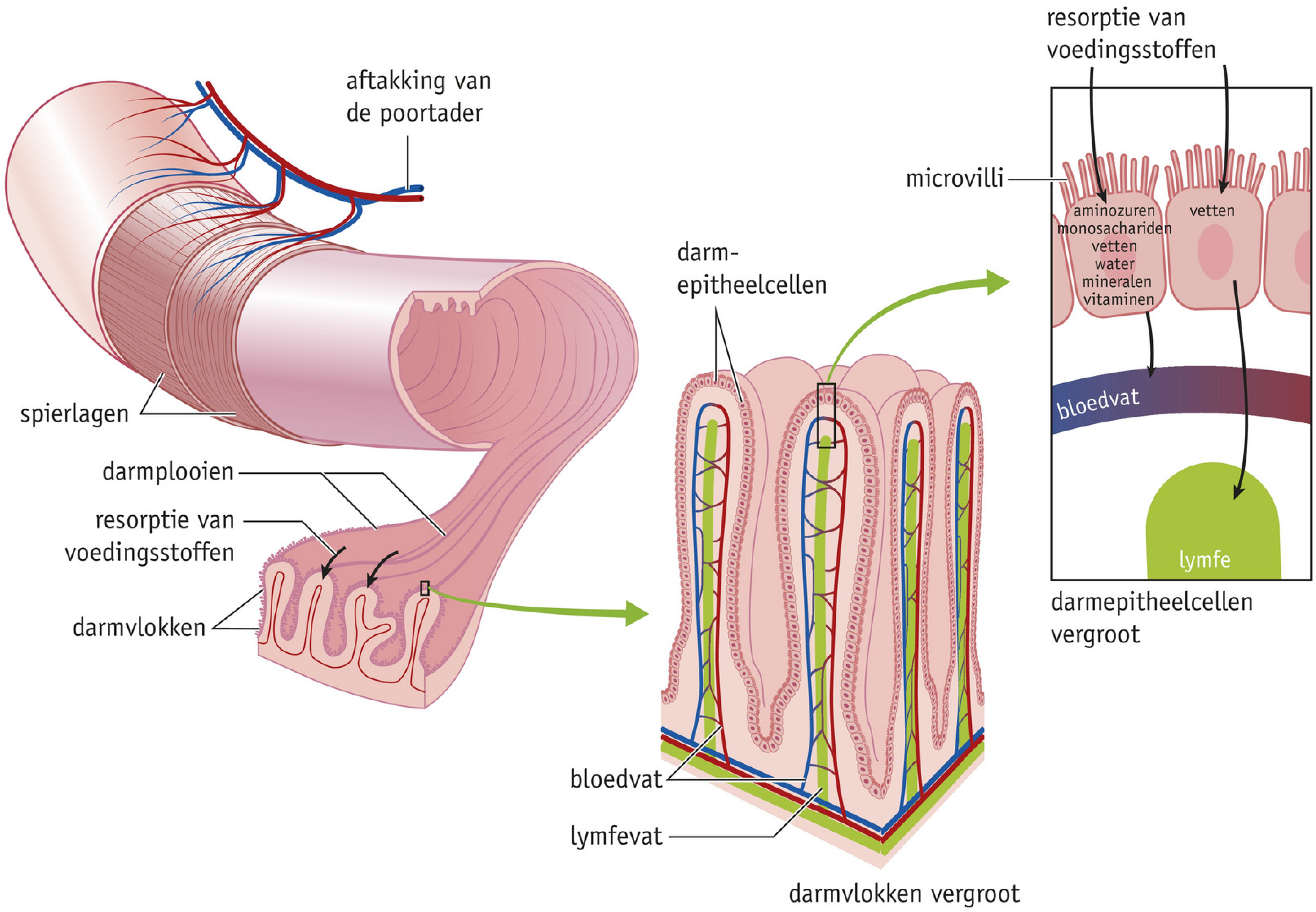
4 Resorptie

Een maaltijd doet er 24 tot 30 uur over om vanuit je mond je anus te bereiken. Vloeibaar voedsel passeert het darmkanaal sneller dan vast voedsel. De voedselbrij verblijft het langst in de dikke darm en endeldarm.

DE DUNNE DARM

Na de twaalfvingerige darm komt de voedselbrij in de **dunne darm**. Hier worden de voedingsstoffen opgenomen in het bloed. Opname van voedingsstoffen vindt ook plaats in andere delen van het verteringsstelsel. De opname van alcohol begint bijvoorbeeld al in de mond en in de maag. De opname van de meeste voedingsstoffen vindt echter plaats in de dunne darm.
De dunne darm van een volwassen persoon is ongeveer zes meter lang. De wand is sterk geplooid (zie afbeelding 32). Op de **darmplooien** bevinden zich uitstulpingen: de **darmvlokken**. De buitenste laag cellen van de darmvlokken is het **darmepitheel** (darmdekweefsel). De cellen van het darmepitheel hebben een groot aantal microscopisch kleine uitstulpingen: de **microvilli** (zie afbeelding 32). Door de darmplooien, de darmvlokken en de microvilli is het oppervlak voor de opname van stoffen zeer groot.

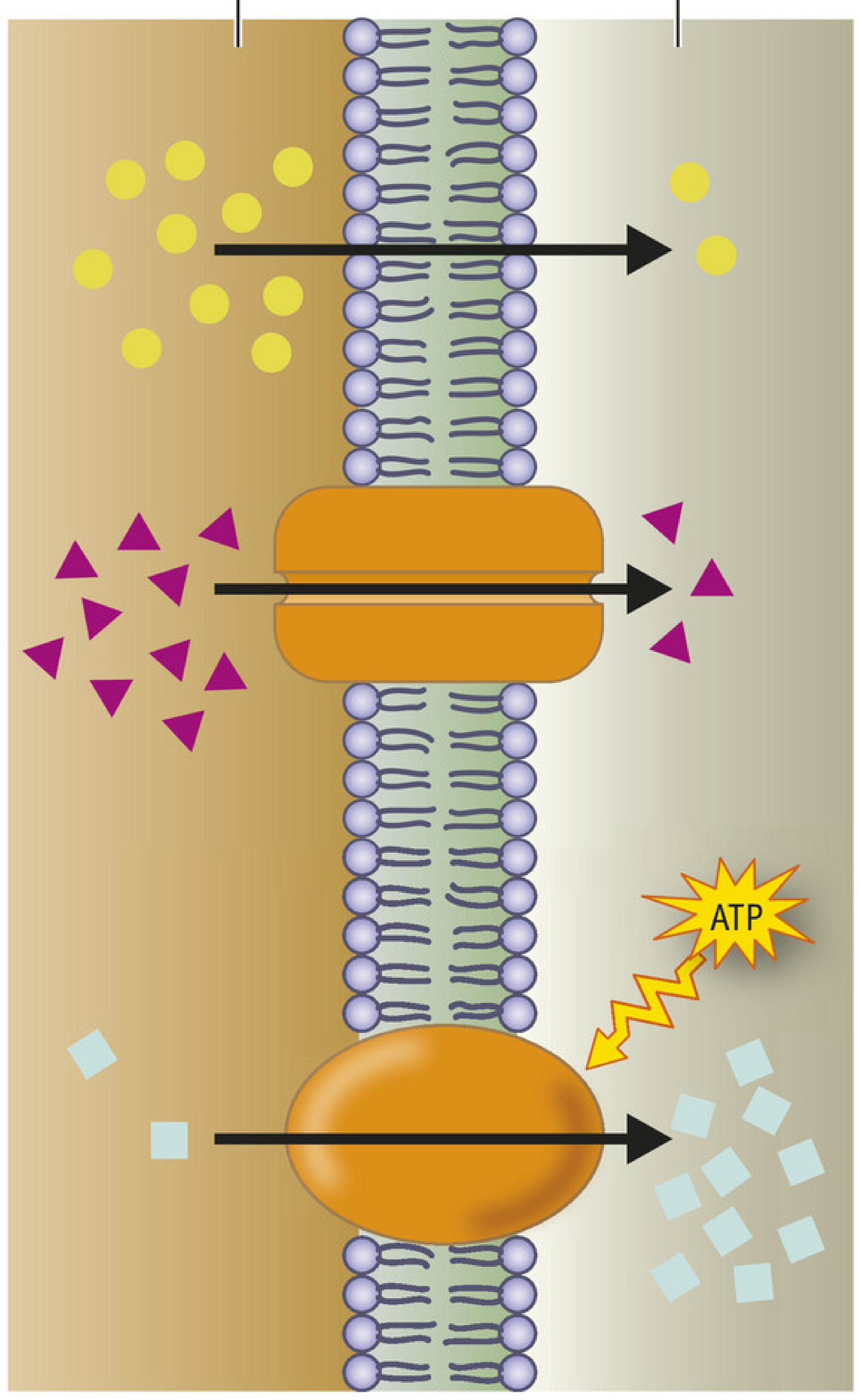
Afb. 32 De bouw van de dunne darm (schematisch).



De cellen van het darmepitheel nemen water, voedingsstoffen en verteringsproducten op uit de voedselbrij. Dat gebeurt door diffusie via de fosfolipiden, porie-eiwitten of transporteiwitten in het celmembraan en door **actief transport** (zie afbeelding 33). Bij actief transport nemen darmepitheelcellen stoffen op

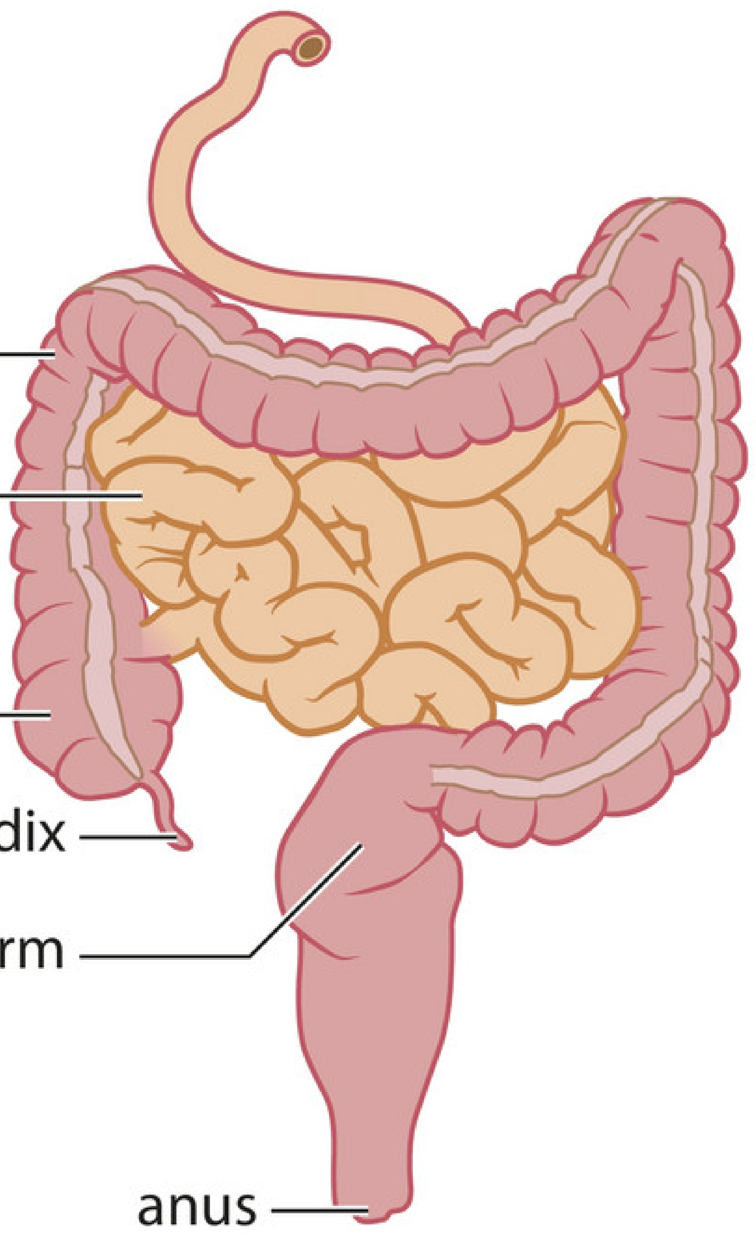
tegen het concentratieverval in. Stoffen gaan dan via transporteiwitten in het membraan van een lage concentratie in de darmholte naar een hoge concentratie in de darmepitheelcellen. De energie die nodig is voor actief transport, komt uit de omzetting van ATP. Er vindt ook selectie van stoffen plaats. Het darmepitheel neemt van sommige stoffen veel moleculen op en van andere weinig.

Afb. 33 De opname van voedingsstoffen in darmepitheel.



Darmvlokken bevatten bloedvaten en lymfevaten. De opname van stoffen via de darmwand in het bloed en de lymfe noem je **resorptie** (Latijn: resorbere = opzuigen). Voor resorptie is energie nodig. In de cellen van het darmepitheel vindt daardoor intensieve dissimilatie plaats.
De meeste stoffen worden opgenomen in het bloed. De haarvaten van een groot deel van het darmkanaal (van de maag tot en met de dikke darm) verenigen zich tot één afvoerend bloedvat: de **poortader**. Hierdoor stroomt bloed naar de lever. In de cellen van het darmepitheel worden uit glycerol en vetzuren weer vetten gevormd, die vooral worden opgenomen in de lymfe.

Afb. 34 De ligging van dunne darm, blindedarm met appendix, dikke darm en endeldarm met anus (schematisch).



DE DIKKE DARM EN DE ENDELDARM

De onverteerde voedselresten komen terecht in de **dikke darm**. De dikke darm is ongeveer anderhalve meter lang. In de dikke darm wordt veel van het nog resterende water uit de brij van onverteerde voedselresten geresorbeerd. Dat is nodig, omdat je anders te veel vocht verliest en uitdroogt. Ook mineralen worden in de dikke darm geresorbeerd.
Vlak onder de overgang van dunne darm naar dikke darm ligt de **blindedarm** (zie afbeelding 34). Aan de onderkant van de blindedarm zit een uitstulping: de **appendix** (het wormvormig aanhangsel). Bij 'blindedarmontsteking' is niet de blindedarm ontstoken, maar de appendix. Deze wordt dan operatief verwijderd. De blindedarm blijft zitten.
In de dikke darm leven veel darmbacteriën (de **darmflora**). Sommige darmbacteriën produceren enzymen voor de vertering van stoffen die niet door de verteringsenzymen van de mens worden verteerd. Bijvoorbeeld een enzym

voor de vertering van cellulose uit de celwanden van plantaardig voedsel. Andere soorten darmbacteriën produceren stoffen die belangrijk zijn voor de mens, zoals vitaminen. Een voorbeeld daarvan is vitamine K.

De onverteerde voedselresten worden in de **endeldarm** verzameld. Ook in de endeldarm vindt nog resorptie van stoffen plaats. Hiervan wordt gebruikgemaakt bij het toedienen van medicijnen in zetpillen. Het bloed uit de haarvaten van de endeldarm komt namelijk niet in de poortader terecht en stroomt dus niet rechtstreeks naar de lever.

De endeldarm wordt afgesloten door een kringspier: de **anus**. De **ontlasting** (**feces**) bestaat uit onverteerde voedselresten, water en zeer veel bacteriën.

opdrachten

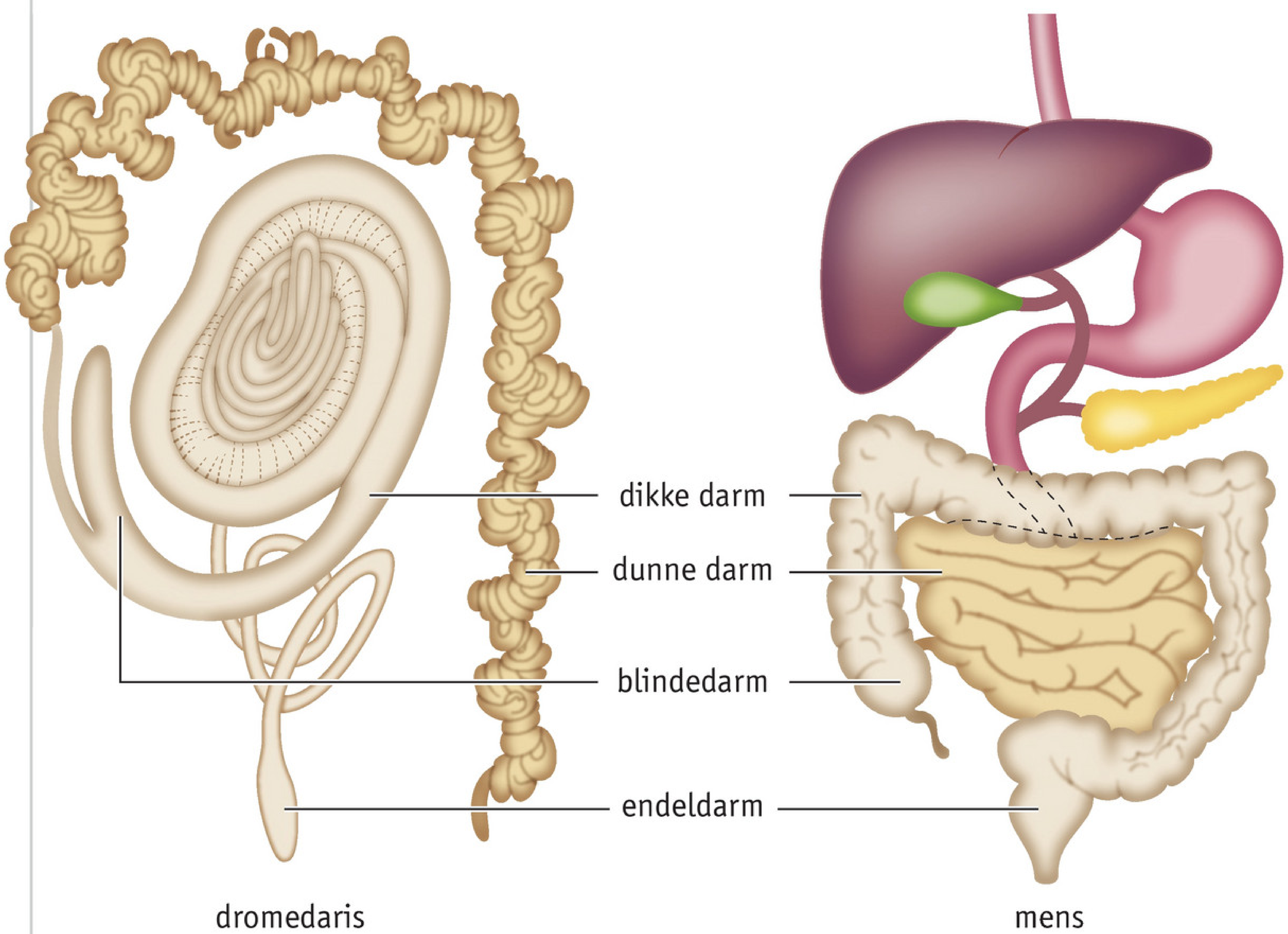
24 Bij het toedienen van sommige medicijnen in pillen is het belangrijk dat deze medicijnen niet direct in de lever terechtkomen.

- **a** Leg uit dat toediening in de vorm van zetpillen dan een goede oplossing is.
- **b** Via dood darmepitheel vindt geen resorptie plaats. Wat kun je hieruit afleiden?
- **c** Welke cellen bevatten de meeste mitochondriën: epitheelcellen van de slokdarm of epitheelcellen van de dunne darm? Leg je antwoord uit.
- **d** Opname van alcohol vindt plaats in een groot deel van het darmkanaal. Waardoor is de opname in de dunne darm het grootst?

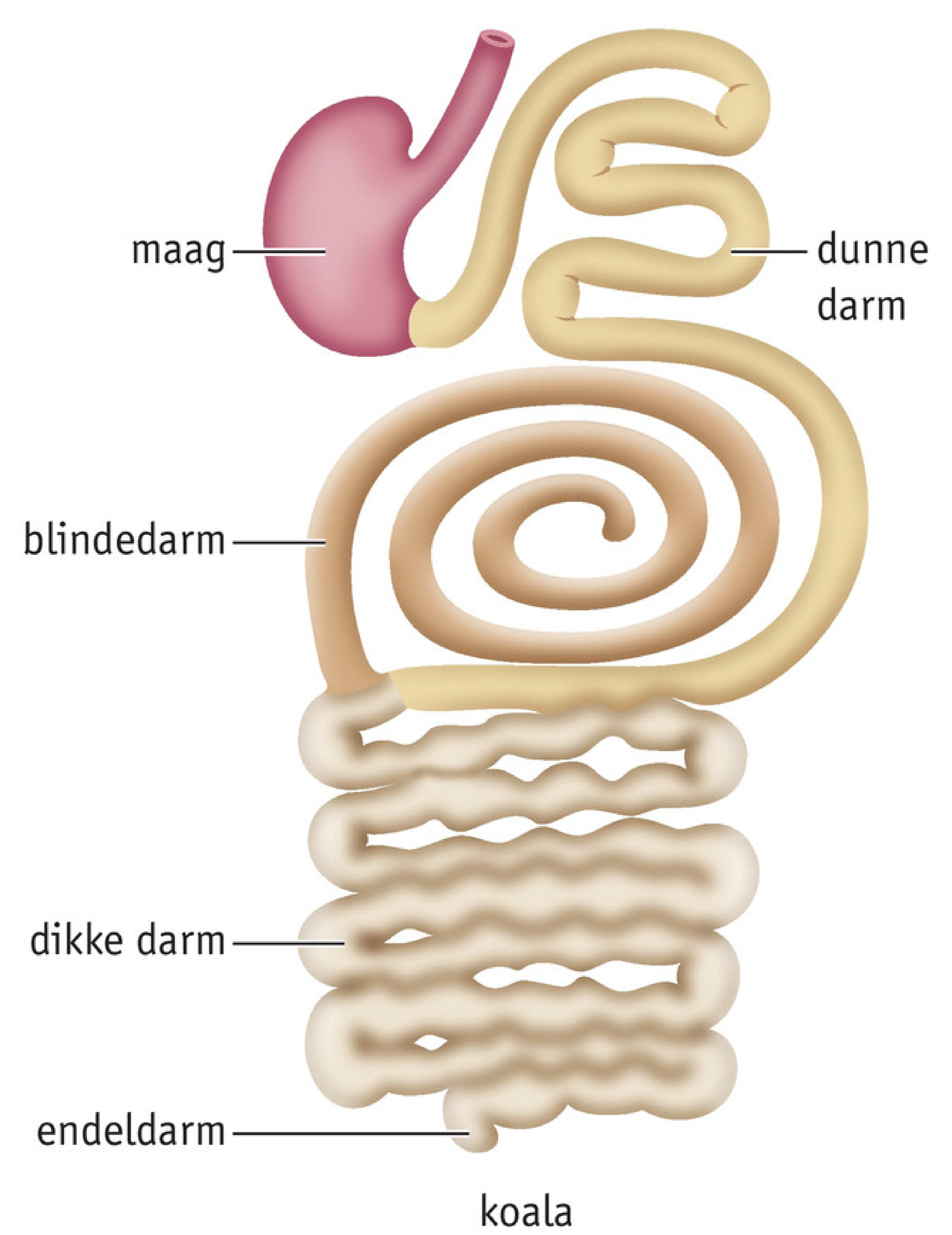
25
- **a** Wat is er aan de hand bij iemand die diarree heeft?
- **b** Sterke, aanhoudende diarree kan levensbedreigend zijn. Leg dat uit.

26 In de celwanden van plantaardige cellen komt onder andere cellulose voor. Mensen maken voor deze polysacharide geen verteringsenzymen aan. Hierdoor is de celinhoud van plantaardige cellen niet bereikbaar voor verteringsenzymen.

▼ **Afb. 35** Verteringsstelsel van een dromedaris en de mens.



▼ **Afb. 36** Verteringsstelsel van een koala.



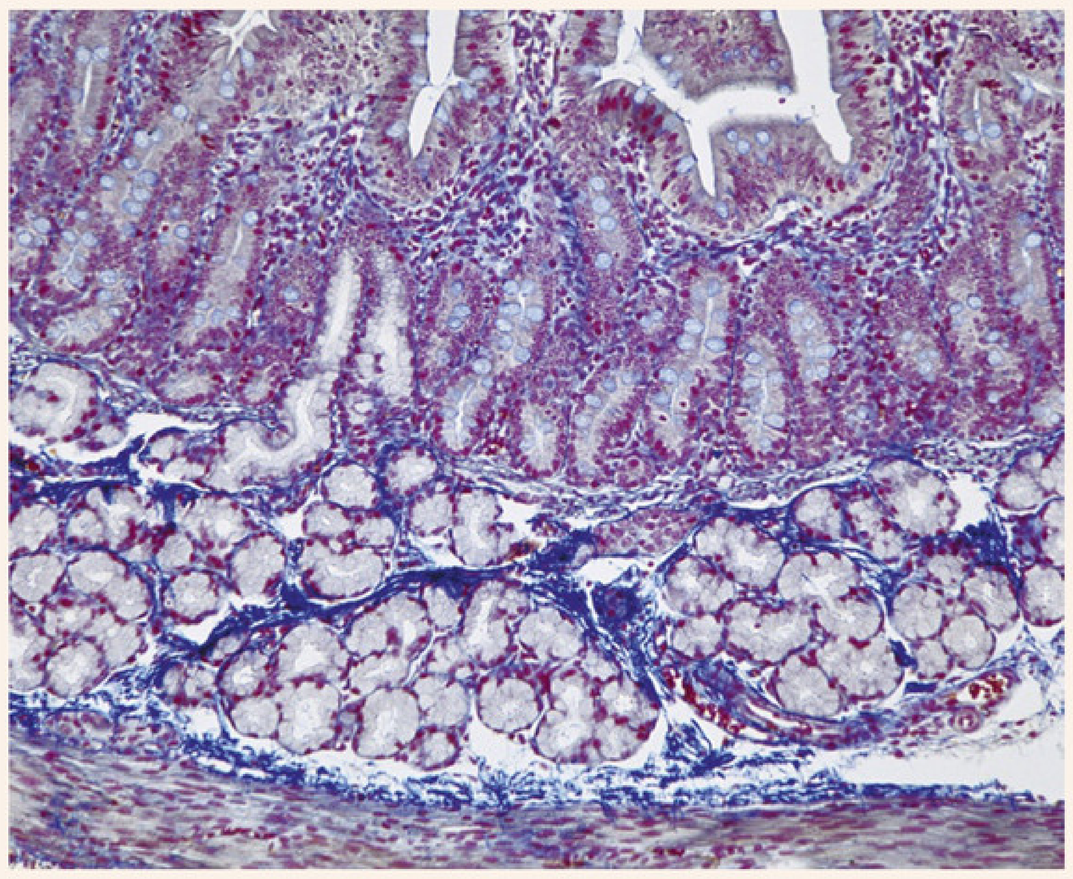
a Leg uit dat je plantaardig voedsel beter verteerbaar maakt als je het kookt.
b Bij zoogdieren zijn op grond van de voedselkeuze onder andere herbivoren (planteneters) en carnivoren (vleeseters) te onderscheiden. Herbivoren leven voor hun spijsvertering samen met cellulasevormende micro-organismen. Desondanks gaat de vertering van cellulose in de celwanden langzaam. Bij welke groep dieren zal het darmkanaal in verhouding tot de lichaamslengte het langst zijn? Leg je antwoord uit.

27 In afbeelding 35 en 36 zie je drie verteringsstelsels.
a Welke aanpassingen van het verteringsstelsel van de dromedaris beperken het vochtverlies via de uitwerpselen tot een minimum?
b De blindedarm en de dikke darm van de koala bevatten micro-organismen die cellulase aanmaken.
Een koala verkrijgt bijna al zijn voedingsstoffen (inclusief water) uit eucalyptusbladeren. Leg uit hoe dat mogelijk is.

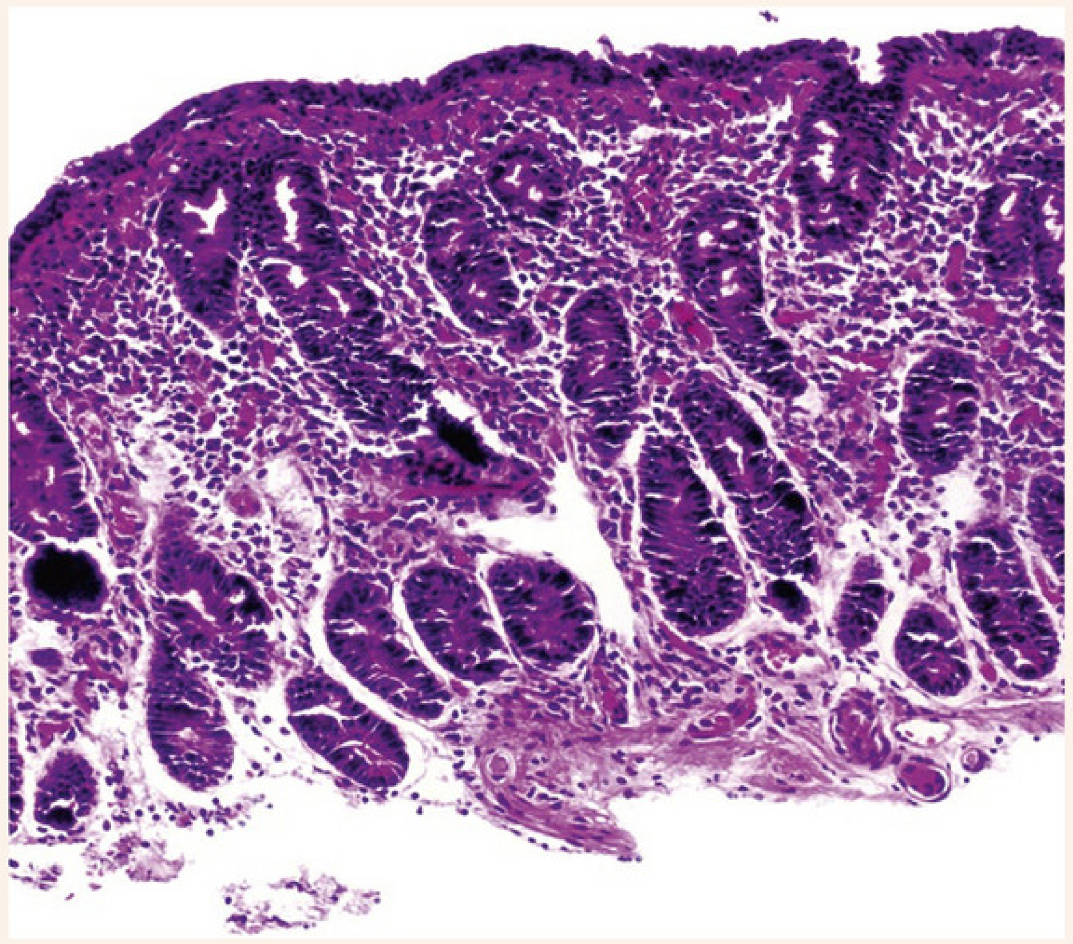
CONTEXT Leefwereld

Glutenintolerantie

▼ **Afb. 37** Darmwand.



1 stukje darmwand van een gezonde persoon



2 stukje darmwand van een coeliakiepatiënt

Gluten zijn eiwitten die van nature voorkomen in veel soorten granen, zoals tarwe, rogge, gerst en spelt. Gluten komen daardoor ook voor in de voedingsmiddelen waarin deze granen zijn verwerkt, bijvoorbeeld in brood, crackers, pizza, pasta, paneermeel en koek. Maar ook in soep, snoep en ijs kunnen gluten voorkomen.
Voedsel met gluten zorgt bij mensen met glutenintolerantie (coeliakie) voor ontstekingen van de wand van de dunne darm, waardoor de darm zijn werk niet goed kan doen. Een gezonde dunne darm heeft aan de binnenkant darmplooien en darmvlokken. Bij iemand met coeliakie gaan de darmvlokken kapot door de ontstekingen.
Wanneer mensen spreken over een glutenallergie, bedoelen ze vaak coeliakie. De ziekteverschijnselen lopen bij coeliakie behoorlijk uiteen. Je kunt bijvoorbeeld last hebben van diarree, verstopping, een opgezette buik, gewichtsverlies, overgewicht, depressie, bloedarmoede en botontkalking.
Door een glutenvrij dieet kan de dunne darm herstellen van coeliakie. Dit dieet moet je levenslang volgen. Elk spoortje van gluten in voeding kan de dunne darm opnieuw beschadigen.

opdracht

28 Om te onderzoeken of er bij mensen met ernstige darmklachten sprake is van glutenintolerantie, wordt met behulp van een endoscoop een stukje dunne darm verwijderd en microscopisch onderzocht. In afbeelding 37 is een stukje dunne darm van een gezonde persoon en van een coeliakiepatiënt weergegeven.
a Behoren alle cellen in afbeelding 37.1 tot één weefseltype of tot meerdere weefseltypen? Leg je antwoord uit.
b Wat is het verschil tussen het oppervlak van de dunne darm van een gezonde persoon en dat van een coeliakiepatiënt?
c Welke gevolgen heeft dit voor de gezondheid van de patiënt? Leg je antwoord uit.

Leerdoel

– Je kunt aangeven wat gezonde voeding is en wat de gezondheidsrisico's zijn van ongezonde of van te veel voeding.

5 Gezonde voeding

Sinds we genoeg voedsel hebben en infectieziekten kunnen voorkomen, worden we wel ouder maar niet per se gezonder. Het aantal welvaartsziekten stijgt. Onze verre voorouders kenden deze ziekten niet.

GEZOND ETEN

Door gezond te eten verklein je het risico op welvaartsziekten als hart- en vaatziekten, diabetes en kanker. Gezond eten verkleint ook de kans op risicofactoren voor het ontstaan van deze ziekten, zoals hoge bloeddruk, een hoog cholesterolgehalte en overgewicht. Maar wat echt gezond eten is, weten voedingsdeskundigen nog altijd niet precies. Het Voedingscentrum geeft adviezen over gezonde voeding en informatie over voedingsstoffen, voedingsmiddelen en voedingspatronen in relatie tot gezondheid. Als hulpmiddel is hiervoor de Schijf van Vijf samengesteld (zie afbeelding 38).

▼ **Afb. 38** De Schijf van Vijf.



Als je eet volgens de Schijf van Vijf, krijg je de optimale combinatie van voedingsstoffen binnen. Uit de grotere vakken moet je meer voedingsmiddelen kiezen dan uit de kleinere vakken. De grote vakken bevatten plantaardige voedingsmiddelen. Voedingsmiddelen die niet voorkomen in de Schijf van Vijf, kun je beter niet of niet te vaak eten. Deze voedingsmiddelen bevatten bijvoorbeeld te veel zout, suiker, verzadigd vet of te weinig vezels en hebben daardoor een negatief effect op je gezondheid.

De hoeveelheid voedsel die je nodig hebt, is vooral afhankelijk van je energiebehoefte. De energiebehoefte in rust (de basale stofwisseling) hangt onder andere af van je geslacht, leeftijd en lichaamsgewicht en de omgevingstemperatuur. Als je actief bent, is de energiebehoefte afhankelijk van de lichamelijke inspanning die je verricht.

VERLEIDINGEN

Gezondheidsorganisaties zoals het Voedingscentrum adviseren om vooral onbewerkt, vers en plantaardig voedsel te eten. Het assortiment voedingsmiddelen in winkels bestaat echter voor een groot deel uit sterk bewerkt voedsel: voedingsmiddelen met veel kleurstoffen, smaakstoffen, geurstoffen, suiker, verzadigd vet en zout en weinig mineralen, vitaminen en vezels.
Veel mensen vinden deze voedingsmiddelen lekker, waardoor ze geneigd zijn er veel van te eten of drinken. Deze voedingsmiddelen zijn bovendien overal verkrijgbaar, waardoor je continu in de verleiding komt. Wanneer je deze sterk bewerkte voedingsmiddelen eet, krijg je veel suiker en verzadigd vet binnen. Sterk bewerkte voedingsmiddelen dragen hierdoor bij aan het ontstaan van welvaartsziekten als obesitas, diabetes type 2 en hart- en vaatziekten.

opdrachten

29 Palmolie komt uit het vruchtvlees of zaad van de palmvrucht en wordt gebruikt in heel veel voedingsmiddelen, zoals margarine, ijs, chocolade en kant-en-klaarmaaltijden. Palmolie staat niet in de Schijf van Vijf.

a Bekijk afbeelding 38 en 39 en leg uit waarom palmolie niet in de Schijf van Vijf staat.

b Uit welke vakken in de Schijf van Vijf leveren de voedingsmiddelen onder andere koolhydraten en voedingsvezels?

c Uit welke vakken moet je voedingsmiddelen gebruiken om voedingsstoffen binnen te krijgen die bijdragen aan de botopbouw?

▼ **Afb. 39** De voedingswaarden van olijfolie en palmolie.

	Energie	Energie	Water	Eiwit	Koolhydraten	Suikers	Vet	Verzadigd vet	E.o.v.	M.o.v.	Cholesterol	Vezels
Eenheid per 100 g	kcal	kJ	g	g	g	g	g	g	g	g	mg	g
Olijfolie	883	3696	0,0	0,0	0,2	0,0	99,8	14,5	75,5	9,5	0,0	0,0
Palmolie	874	3659	0,0	0,0	0,0	0,0	98,9	48,5	38,5	11,0	0,0	0,0

30 a Noem drie processen in je lichaam waarvoor altijd energie nodig is, omdat ze deel uitmaken van de basale stofwisseling.

b De energiebehoefte van meisjes neemt gemiddeld vanaf hun 16e jaar vrijwel niet meer toe. Die van jongens wel.
Leg uit waarmee dat samenhangt.

31 Veel vrouwen geven hun baby borstvoeding. Moedermelk bevat per liter 12 g eiwitten. De dagelijkse eiwitbehoefte van een baby is gemiddeld 1,8 g eiwit per kilogram lichaamsgewicht.
Bereken hoeveel liter moedermelk een baby van 4 kg per dag minimaal moet drinken om in de dagelijkse behoefte aan eiwitten te voorzien.

32 Op de ingrediëntenlijst van een verpakt voedingsmiddel staat het ingrediënt dat er het meest in voorkomt als eerste vermeld. Daarna het ingrediënt dat er dan het meest in voorkomt, enzovoort.

- **a** Noteer van tien verpakte tussendoortjes (eten of drinken) uit de schoolkantine of suiker bij de eerste drie ingrediënten staat.
- **b** Welke conclusie kun je trekken uit je onderzoek?
- **c** De Nederlandse regering gelooft in zelfregulering: de voedingsindustrie zorgt ervoor dat de voedingsmiddelen die zij produceren gezond zijn. De artsenorganisatie in Nederland gelooft daar niet in en wil dat de regering een gezondvoedselbeleid gaat voeren. Zij zou maatregelen moeten nemen die een gezonde keuze gemakkelijker en aantrekkelijker maken. Bijvoorbeeld het verbieden van sterk bewerkte tussendoortjes (junkfood) op scholen en ongezonde kindermarketing.
 Kom jij vaak in de verleiding om ongezonde tussendoortjes te eten? Leg uit waarom jij wel of niet in de verleiding komt.
- **d** Vind jij dat de verkoop van sterk bewerkte tussendoortjes op scholen verboden moet worden om het ontstaan van welvaartsziekten te voorkomen? Leg je antwoord uit.
- **e** Een eenzijdig dieet kan leiden tot gebreksziekten. Zoals bij de student die alleen maar pizza's at en daardoor scheurbuik kreeg (zie opdracht 8).
 Zou jou dat kunnen overkomen? Verklaar je antwoord.

EEN GEZOND GEWICHT

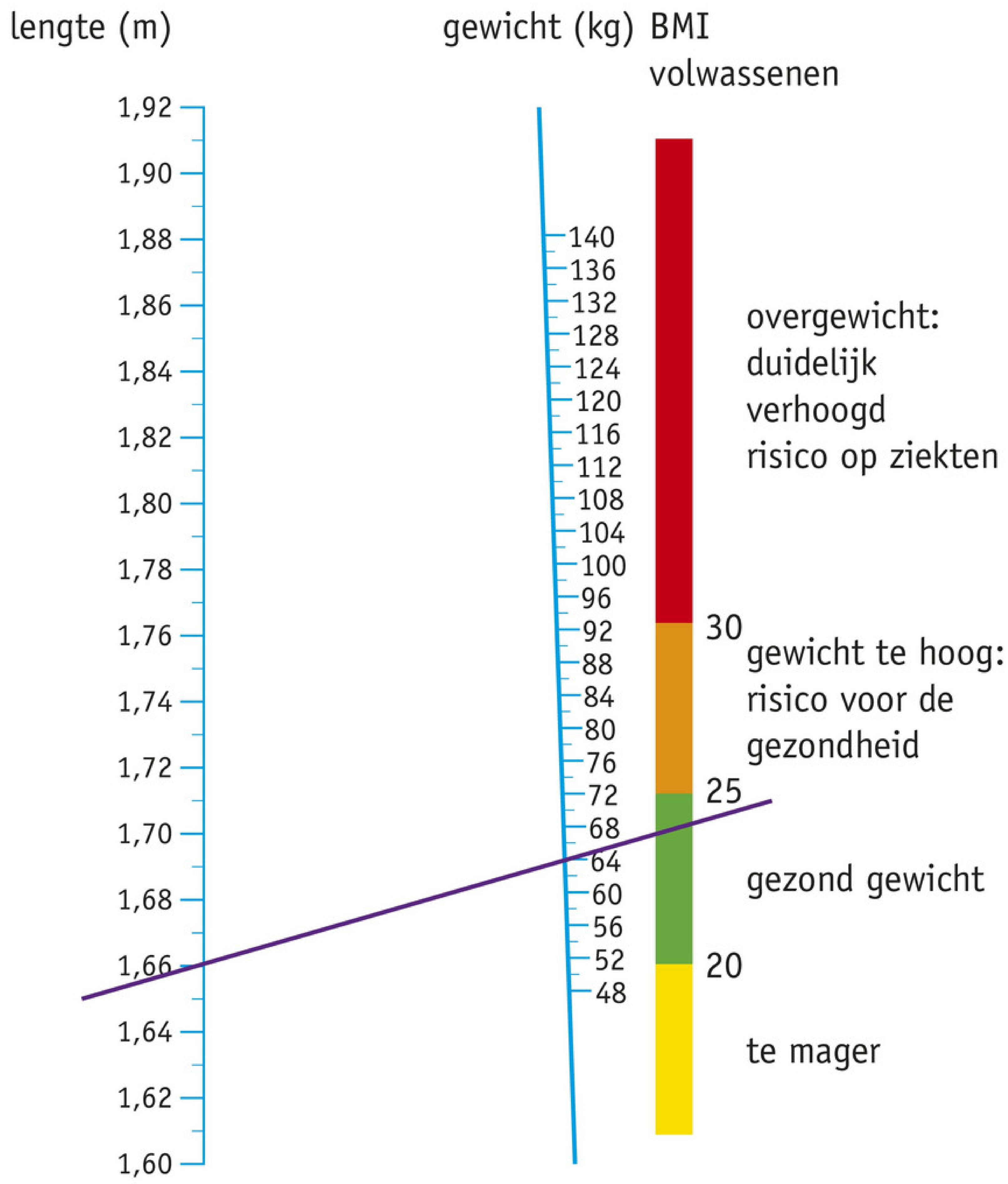
Als je via je voeding regelmatig meer energie binnenkrijgt dan je lichaam nodig heeft, kun je zwaarder en dikker worden. Dat komt doordat je een teveel aan vet opslaat in het onderhuidse bindweefsel en rondom organen in je buik (buikvet). Te veel buikvet vergroot het risico op aandoeningen als hart- en vaatziekten, hoge bloeddruk, diabetes type 2 en kanker. Volwassen vrouwen hebben te veel buikvet wanneer hun tailleomvang groter is dan 80 cm. Bij mannen wordt de grens overschreden bij 94 cm. Ook als je via je voeding minder energie en voedingsstoffen binnenkrijgt dan je lichaam nodig heeft, kun je ziek worden.

Met de Body Mass Index (BMI) kun je bepalen of je een gezond gewicht hebt (zie afbeelding 40). De BMI is bedoeld voor volwassenen en is een maat voor het gewicht in verhouding tot de lichaamslengte. Er wordt geen rekening gehouden met de verhouding van vet-, spier- en botweefsel. De BMI-meting is daardoor alleen betrouwbaar wanneer je een gemiddelde lichaamsbouw hebt. Volwassenen met een BMI tussen de 20 en 25 hebben een gezond gewicht. Als je BMI te hoog of te laag is, heb je meer risico op ziekten.

Je kunt overgewicht alleen kwijtraken als je met je voedsel minder energie binnenkrijgt dan je verbruikt.
Het is niet verstandig om zomaar minder te gaan eten. Je moet immers wel elke dag voldoende voedingsstoffen binnenkrijgen om gezond te blijven. Beter is het om producten te kiezen met een gezondere samenstelling, tussendoortjes te laten staan en meer te bewegen om af te vallen. Wanneer je veel kilo's kwijt wilt, kun je je het best laten adviseren door een diëtist. Dat geldt ook als je ondergewicht hebt en wilt aankomen.

▶▶ PRACTICUMOPDRACHT 5

▶ **Afb. 40** De Body Mass Index (BMI).



opdrachten

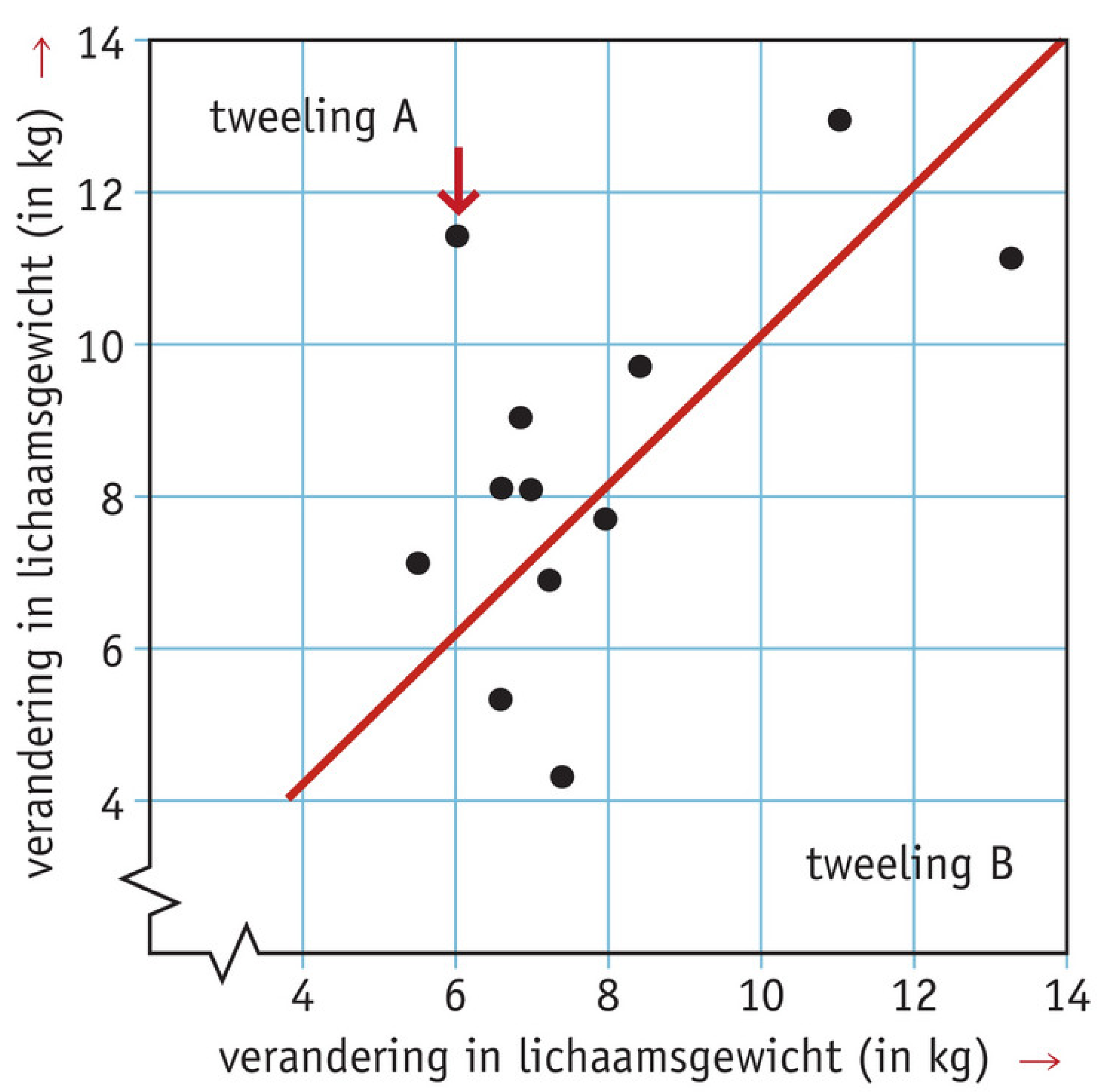
33 Maarten doet aan judo en heeft daardoor flink veel spieren. Hij doet mee aan de Nederlandse kampioenschappen. Volgens de BMI-meting heeft Maarten geen gezond gewicht.

a Leg uit dat de uitkomst van de BMI-meting niet klopt.
b Hoe kan Maarten wel bepalen of hij een gezond gewicht heeft?
c Het is niet vanzelfsprekend dat iemand met een gezond gewicht voldoet aan de eisen voor een gezonde voeding. Leg dat uit.

34 In afbeelding 41 staat een onderzoek naar de erfelijkheid van obesitas.

a Formuleer een onderzoeksvraag bij het experiment.
b Formuleer een hypothese bij de onderzoeksvraag.
c Is het onderzoek van afbeelding 41 betrouwbaar? Leg je antwoord uit.
d Wit vetweefsel scheidt het hormoon leptine af. Leptine is een verzadigingshormoon dat aan de hersenen het signaal geeft dat je voldoende hebt gegeten. Bij de rode pijl in de grafiek wordt een tweeling weergegeven waarvan een van de twee verminderd gevoelig is voor het hormoon leptine.
Welke invloed heeft dat op deze persoon?
e Leg uit waarom het moeilijk is om experimenteel onderzoek te doen naar de oorzaak van gewichtstoename bij mensen.
f Bij tweelingstudies worden eeneiige tweelingen vergeleken met twee-eiige tweelingen.
Verklaar waarom deze tweelingstudies informatie kunnen geven over de rol van genen ten opzichte van het milieu (de omgeving).

▼ Afb. 41

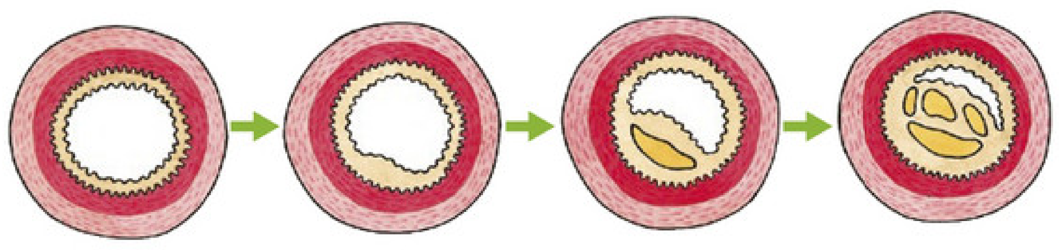
ONDERZOEK	**IS OBESITAS ERFELIJK?**
Inleiding	In welvarende landen is ruim voldoende voedsel aanwezig en worden lichamelijke arbeid en transport vooral uitgevoerd door machines. Veel mensen leiden hierdoor een zittend leven. Dit heeft geleid tot een toename van het aantal mensen met obesitas. Obesitas is een ernstige vorm van overgewicht doordat er veel vet in het lichaam is opgeslagen. Je hebt obesitas als je BMI 30 of hoger is. De stijging van het aantal mensen met obesitas in de afgelopen decennia kan niet worden verklaard door erfelijke aanleg. Toch worden mensen die in ongeveer dezelfde omgeving leven, niet allemaal even dik.
Onderzoeksvraag	
Hypothese	
Experiment	Onderzoekers bepalen het gewicht van twaalf mannelijke eeneiige tweelingen. Daarna geven ze de eeneiige tweelingen elke dag extra voeding met een energetische waarde van 1000 kcal. Dat doen ze voor een periode van honderd dagen. Na honderd dagen worden de eeneiige tweelingen opnieuw gewogen.
Resultaat	De gemiddelde toename in lichaamsgewicht per individu is 8,1 kg. Tussen de tweelingparen is er een groot verschil in gewicht, variërend van 4,3 tot 13,3 kg. Tussen de tweelingen onderling is er een sterke overeenkomst in de toename van het gewicht.  Elk punt in de grafiek geeft een tweelingpaar (A en B) weer. De punten het dichtst bij de diagonale lijn zijn de tweelingen die de meest overeenkomstige verandering in lichaamsgewicht vertoonden.
Conclusie	Er is een overeenkomst in de reactie op extra voeding bij identieke tweelingen. Hieruit blijkt dat genetische factoren een rol spelen bij gewichtstoename.

DE CHOLESTEROL-HDL-RATIO

Doordat cholesterol een belangrijke bouwstof is, kun je niet zonder. Maar te veel cholesterol in je bloed is ongezond. Overtollige cholesterol kan zich afzetten tegen beschadigingen aan de binnenwand van bloedvaten, die zijn ontstaan door roken, verhoogde bloeddruk of ouderdom. Hierdoor worden de bloedvaten nauwer. Dit kan op den duur leiden tot hart- en vaatziekten.

Cholesterol wordt vooral aangemaakt door je lever. In je bloed wordt cholesterol vervoerd in lipoproteïnen. Dat zijn verbindingen van cholesterol en eiwitten. Er bestaan verschillende soorten lipoproteïnen, waaronder VLDL (Zeer (very) Lage Dichtheid Lipoproteïne), LDL (Lage Dichtheid Lipoproteïne) en HDL (Hoge Dichtheid Lipoproteïne).

▼ **Afb. 42** Vernauwing van een bloedvat door afzetting van LDL-cholesterol.



De cholesterol die je lever aanmaakt, vormt samen met andere vetten VLDL, dat wordt afgegeven aan het bloed. De cellen in weefsels nemen de meeste vetten uit VLDL op. Uiteindelijk ontstaan uit VLDL lipoproteïnen die voornamelijk nog cholesterol bevatten: LDL. Het merendeel van dit LDL wordt opgenomen in de lever, bijnieren en teelballen of eierstokken. LDL-cholesterol dat in het bloed blijft, kan zich afzetten tegen de binnenwand van de bloedvaten (zie afbeelding 42).

De lever maakt ook HDL en geeft dit af aan het bloed. HDL neemt LDL-cholesterol uit het bloed op en voert die af naar de lever. HDL verlaagt zo het LDL-cholesterolgehalte van het bloed. In de lever wordt de overtollige cholesterol met de gal uit het lichaam verwijderd.
Verzadigde vetzuren in je voeding zorgen voor een toename van LDL-cholesterol. Onverzadigde vetzuren zorgen juist voor een toename van HDL-cholesterol. Het HDL vermindert de afzetting van LDL-cholesterol in de bloedvaten. Het kan er zelfs toe leiden dat de afgezette cholesterol in de bloedvaten wordt afgebroken. Hierdoor wordt de kans op hart- en vaatziekten weer kleiner.

▼ **Afb. 43** Betekenis van de resultaten van een cholesterolmeting.

Het cholesterol-gehalte is:	Het cholesterol-gehalte is:
lager dan 5,0 mmol/L	normaal
5,0 – 6,4 mmol/L	licht verhoogd
6,5 – 7,9 mmol/L	verhoogd
hoger dan 8,0 mmol/L	sterk verhoogd

Een hoog cholesterolgehalte kan onder andere worden veroorzaakt door overgewicht, het eten van veel verzadigd vet, diabetes en erfelijke aanleg. Een verhoogd cholesterolgehalte is een risicofactor voor hart- en vaatziekten. De waarde van het totale cholesterolgehalte is echter niet voldoende om vast te stellen of je een verhoogde kans hebt op hart- en vaatziekten. Een arts kijkt daarvoor ook naar de verhouding LDL en HDL ofwel de cholesterol-HDL-ratio. Hoe hoger het HDL, des te beter is de afvoer van overtollige LDL-cholesterol naar de lever. Een hoog LDL is juist ongunstig.
De cholesterol-HDL-ratio bereken je door het totale cholesterolgehalte te delen door het HDL. Wanneer de ratio kleiner is dan 4, is er geen verhoogde kans op hart- en vaatziekten (zie afbeelding 43).

opdracht

35 Sommige mensen hebben een verhoogd cholesterolgehalte van het bloed terwijl ze voedingsmiddelen met veel cholesterol vermijden.

a Wat is de oorzaak van het hoge cholesterolgehalte bij deze mensen?

b Waarom wordt cholesterol in het bloed vervoerd in lipoproteïnen?

c In afbeelding 44 is de gemiddelde samenstelling van Edammer kaas en pindakaas gegeven.
Geef twee redenen waarom een boterham met pindakaas beter past in een cholesterolverlagend dieet dan een boterham met Edammer kaas.

d Bij een patiënt is het totale cholesterolgehalte 6,5 mmol/L en het HDL 1,2 mmol/L.
Bereken de cholesterol-HDL-ratio van deze patiënt en bepaal of de patiënt een verhoogde kans heeft op hart- en vaatziekten.

▼ **Afb. 44** Samenstelling van Edammer kaas en pindakaas.

	Energie	Energie	Water	Eiwit	Kool-hydra-ten	Suikers	Vet	Verza-digd vet	E.o.v.	M.o.v.	Choles-terol	Vezels
Eenheid per 100 g	kcal	kJ	g	g	g	g	g	g	g	g	mg	g
Edammer kaas 40+	313	1310	45,5	26,1	0,0	0,0	23,4	15,5	6,0	0,7	71,0	0,0
Pindakaas	625	2613	3,0	26,0	12,0	6,0	52,0	9,2	23,0	17,5	0,0	6,0

VOEDSEL EN ONZE OMGEVING

De productie van voedsel heeft invloed op het milieu. Gewasbeschermingsmiddelen, mest, transport, zoetwatergebruik en het gebruik van energie hebben allemaal gevolgen voor de leefomgeving.
In 2050 zal de wereldbevolking naar verwachting zijn gegroeid tot negen miljard mensen, waardoor de voedselproductie moet toenemen. Bovendien zal door de groeiende welvaart de vraag naar bepaalde voedingsmiddelen stijgen, bijvoorbeeld de vraag naar vlees. Maar er is te weinig ruimte voor vee om aan deze vraag te kunnen voldoen. We gebruiken nu al twee derde van het landbouwoppervlak voor vleesproductie. Dit probleem wordt ook wel de eiwitcrisis genoemd. Er wordt daarom veel onderzoek gedaan naar nieuwe productieprocessen om problemen als voedseltekort in de toekomst te voorkomen en duurzaamheid te bevorderen.

opdracht

36 Stel dat wetenschappers de genen van de zeeslak *Elysia chlorotica* kunnen inbouwen in het DNA van mensen, waardoor we bladgroenkorrels kunnen opnemen en reproduceren. Stel dat we hierdoor niet alleen onze eigen glucose zouden kunnen produceren, maar uit die glucose ook eiwitten en vetten zouden kunnen maken. Dan zouden we alleen nog maar water hoeven drinken en dagelijks een paar pilletjes met mineralen en stikstof slikken.

a Bedenk wat de voordelen voor het milieu zouden zijn als mensen niet meer hoeven te eten. Noteer er vier.

b Wat vind jij de nadelen van dit idee?

CONTEXT Beroep

Plantaardige biefstuk

Steeds meer wetenschappers pleiten voor een ‘eiwitomslag’: geen of minder vlees eten en in je eiwitbehoefte voorzien door het eten van plantaardige eiwitten. Maar voor veel mensen is een maaltijd zonder een stukje vlees niet compleet. Als je deze vleeseters wilt verleiden om geen of minder vlees te eten, moet je ze iets anders aanbieden dat minstens zo lekker is.
Lidewij heeft voedingsmiddelentechnologie gestudeerd aan de HAS in ’s-Hertogenbosch. Zij heeft geleerd hoe je nieuwe, verantwoorde en gezonde voedingsmiddelen ontwikkelt en produceert. Lidewij werkt in een bedrijf dat vlees maakt zonder dieren. Uit plantaardig materiaal (zoals tarwegluten en soja) produceren ze in dit bedrijf plantaardig ‘vlees’. Door de vleesproducten te bewerken, smaken ze minstens zo goed als echt vlees.

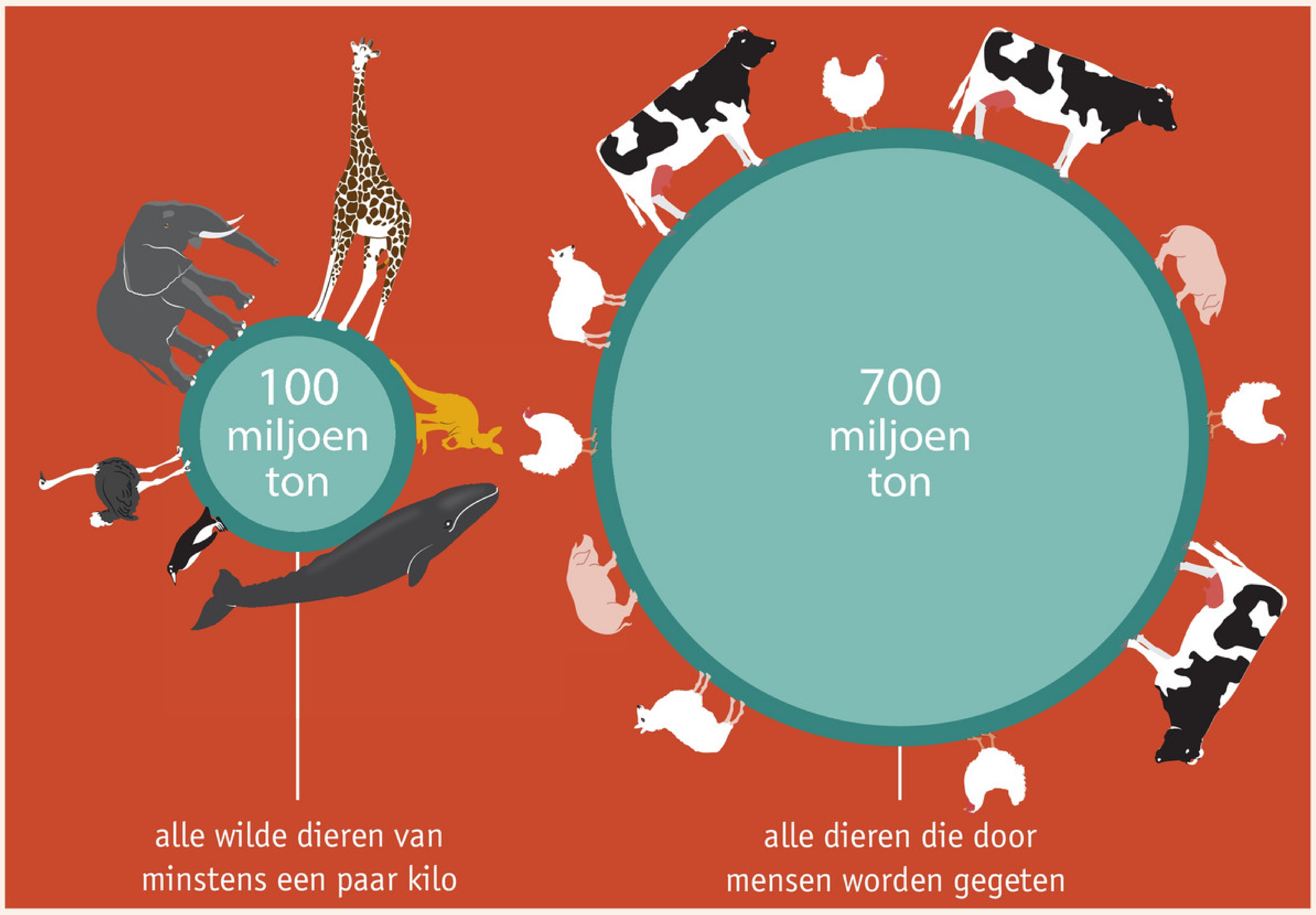
opdrachten

37 Lidewij heeft voedingsmiddelentechnologie gestudeerd.

a Zoek op internet op wat de hbo-opleiding Voedingsmiddelentechnologie precies inhoudt.

b Een voedingsmiddelentechnoloog moet creatief en innovatief zijn. Leg dat uit.

▶ **Afb. 45** Het gewicht van wilde dieren en gefokte dieren.



38 In afbeelding 45 zie je het gewicht van alle wilde dieren van minstens een paar kilo (zoals giraffen, pinguïns, walvissen, olifanten en leeuwen) en het gewicht van alle dieren die door mensen worden gegeten (zoals koeien, varkens, schapen en kippen).

a Welke conclusie kun je trekken uit deze afbeelding?

b Noem twee redenen waarom het beter is voor het milieu om geen vlees meer te eten.

c Per jaar worden er ongeveer 65 miljard dieren geslacht. Het aantal mensen dat ooit heeft geleefd (in de afgelopen 50 000 jaar), is 110 miljard. We doen er nu minder dan twee jaar over om evenveel dieren te slachten.
Is dit voor jou een reden om geen of minder vlees te eten? Licht je antwoord toe met een biologisch of ethisch argument.

d Volgens het Voedingscentrum brengt het eten van te veel vlees risico's voor de gezondheid met zich mee. Rood en vooral bewerkt vlees zoals vleeswaren worden in verband gebracht met beroerten, diabetes type 2 en kanker.
Is dit voor jou een reden om geen of minder vlees te eten? Licht je antwoord toe.

Je hebt nu de basisstof van dit thema doorgewerkt.

- Controleer met het uitwerkingenboek of je de basisstofopdrachten goed hebt uitgevoerd.
- Je kunt nu verdergaan met de digitale oefentoets. Je kunt de samenvatting en flitskaarten gebruiken om je hierop voor te bereiden.
- Na de digitale oefentoets kun je de paragraaf Samenhang, de examentrainer en de verrijkingsstof doen.

Leerdoelen

- Je kunt de argumenten voor het eten van insecten door mensen toelichten voor verschillende organisatieniveaus van de biologie.
- Je kunt de biologische vakvaardigheden ecologisch denken, systeemdenken en vorm-functiedenken toepassen op de vertering bij mieren en het eten van insecten door mensen.

Eten en gegeten worden

De chef-kok van het wereldberoemde Deense restaurant Noma serveert ze levend. Een soort met de naam 'honingpot' is in veel landen een ware traktatie. En het zijn naast mensen de enige dieren die aan 'landbouw' doen: mieren.

Mensen eten mieren. Het achterlijf van gespecialiseerde werksters van de honingpotmier wordt door soortgenoten gebruikt voor voedselopslag. Aboriginals in Australië besteden veel tijd aan het uitgraven van een nest van honingpotmieren om exemplaren met een gezwollen achterlijf te vinden (zie afbeelding 1). Ze bijten het achterlijf open en zuigen het leeg. Mexicanen knijpen de inhoud eruit en gebruiken die bij het bereiden van hun maaltijden. In Colombia kun je in de pauze van een film geroosterde parasolmieren kopen in plaats van popcorn. En een stam indianen die in het Amazonegebied leeft, vindt sauvamieren een delicatesse. Ze smaken naar citroen en worden gebruikt als smaakmaker in bijvoorbeeld sausjes. Mieren verzamelen hun voedsel, maar meestal doen ze nog meer om aan eten te komen. Zo doen honingpotmieren en veel andere mierensoorten aan veeteelt. Ze 'melken' bladluizen. Bladluizen zuigen met hun snuit het sap uit de bastvaten van planten. Het teveel aan suikers in het sap komt via de anus als honigdauw naar buiten. Mieren likken de honigdauw op. In ruil daarvoor krijgen de luizen bescherming tegen roofdieren, zoals het lieveheersbeestje.

Parasolmieren doen aan akkerbouw. Ze kweken schimmels. Ze knippen stukjes blad af met hun kaken en dragen deze als een soort parasol naar hun nest onder de grond. Daar worden de bladeren door werkstermieren fijngekauwd tot moes. Deze bladermoes gaat schimmelen. De schimmels en hun sporen worden als voedsel gebruikt door de mieren en hun mierenlarven.

▼ **Afb. 1** Hangende honingpotmieren.



opdrachten

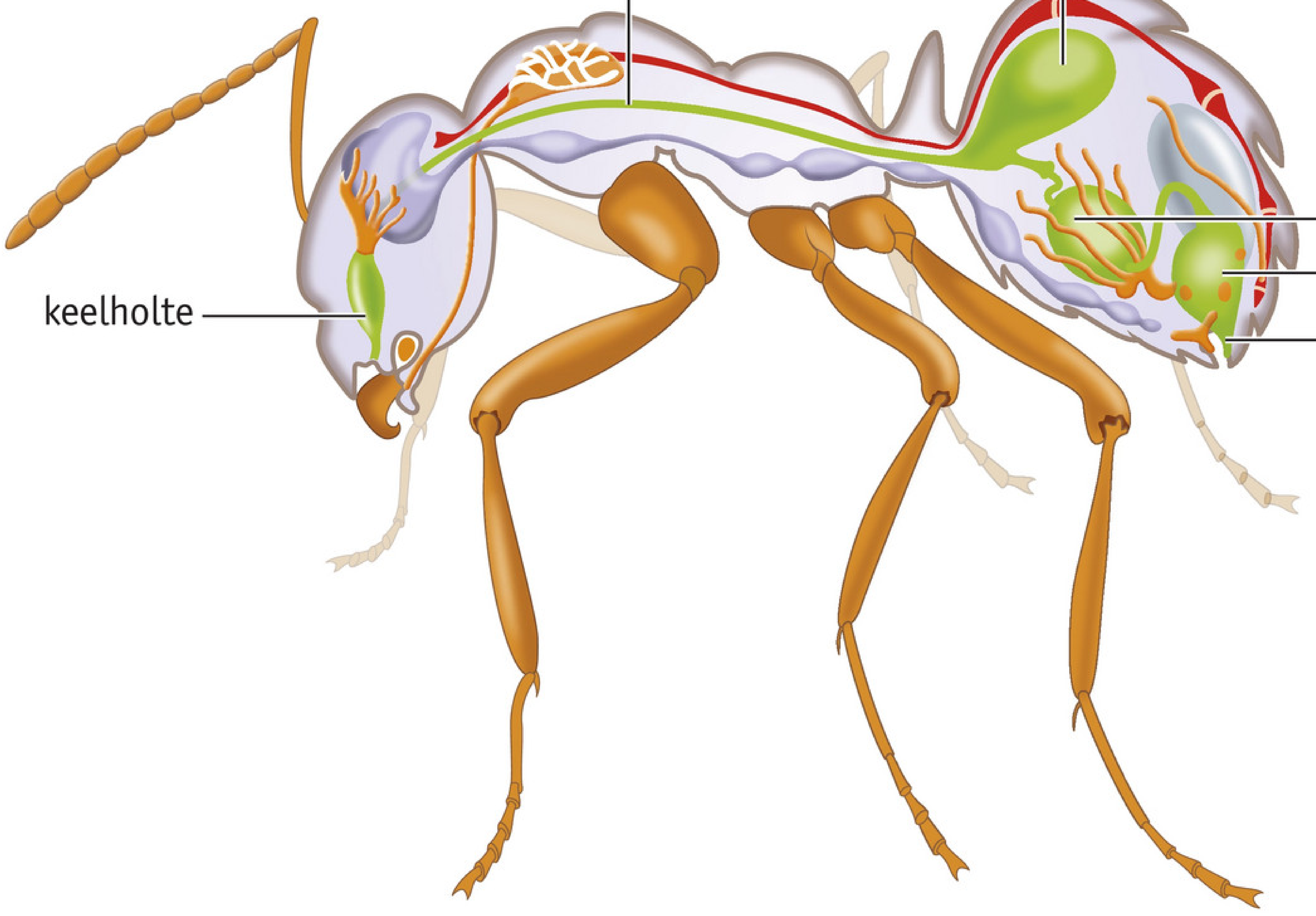
1 Maak een tabel met de verschillende organisatieniveaus en zet de woorden bij het juiste niveau.
Kies uit: *Amazonegebied – chef-kok – een nest honingpotmieren – snuit – sporen – suiker – wereld*.

Organisatie-niveau	Begrip
Biosfeer	
Ecosysteem	
Populatie	
Organisme	
Orgaanstelsel	
Orgaan	
Cel	
Molecuul	

2 Bij mieren komt voedsel in de mond eerst in een speciaal zakje dat werkt als een zeef. De mier spuugt te grote voedseldeeltjes uit. Hierdoor wordt voorkomen dat deze in het spijsverteringskanaal terechtkomen.

- **a** Bekijk afbeelding 2 en leg uit waardoor mieren geen grote voedseldeeltjes kunnen verteren.
- **b** Onderzoekers hebben ontdekt dat werksters van mierenkolonies met larven vooral eiwitrijk voedsel verzamelen. Werksters van mierenkolonies zonder larven verzamelen vooral suikerrijk voedsel. Leg dit uit.
- **c** Insecten gebruiken hun krop om voedsel in op te slaan (zie afbeelding 2). Honingpotmieren hebben vliezen tussen de segmenten van hun achterlijf die kunnen uitrekken. Leg uit waarvoor dat nodig is.
- **d** Wanneer de achterlijven van honingpotmieren sterk zijn gezwollen, zijn ze niet meer in staat om zich te verplaatsen. Ze kunnen alleen nog maar hangen. Het voedsel dat de andere werksters brengen, wordt vooral opgeslagen.
 Geef twee redenen waarom hangende honingpotmieren weinig voeding nodig hebben.
- **e** Honingpotmieren leven in warme, droge gebieden.
 Waarom kunnen ze juist daar goed overleven?

Afb. 2 Het spijsverteringsstelsel van een mier.



3 Qua voedingswaarde zijn mieren, net als andere insecten, een uitstekende vervanger van vlees. Dat is voor sommige entomologen (wetenschappers die insecten onderzoeken) een reden om het eten ervan te promoten.

a Leg met behulp van afbeelding 3 uit waarom sommige wetenschappers insecten een duurzaam alternatief vinden voor vlees. Geef vier argumenten.

b Onderzoeker Ben Reade ziet het eten van insecten helemaal niet als een duurzame oplossing voor het wereldvoedselprobleem. Hij vindt het bijvoorbeeld geen goed idee dat de insectenkwekerijen in Nederland insecten produceren op basis van het intensieve veeteeltmodel. Ook hebben we in Nederland geen tekort aan eiwitten. Volgens Reade kunnen we beter onze eiwitten uit planten halen voor een duurzame oplossing. Leg dat uit.

c Het eten van insecten is cultuurgebonden. Als je ermee bent opgegroeid, vind je het geen probleem om ze te eten.
Geef een ecologische reden waarom mensen in Nederland niet gewend zijn om insecten te eten, maar mensen in de tropen wel.

d Mieren bevatten 14 g eiwit per 100 g. Gemiddeld hebben gezonde mensen per kilogram lichaamsgewicht 0,8 g eiwit per dag nodig.
Bereken hoeveel mieren een persoon van 70 kg moet eten om aan zijn dagelijkse eiwitbehoefte te kunnen voldoen.

Afb. 3 Vleesproductie.

Diersoort	Omzettingsfactor van 10 kg voer (maïs, tarwe, soja, enzovoort)	Eetbaar deel	CO_2-uitstoot per kg	Ruimtebeslag (m^2/kg)
Rund	1 kg	40%	15,9	14,7
Varken	3 kg	55%	4,5	7,7
Kip	5 kg	55%	2,6	4,6
Sprinkhaan	9 kg	80%	1,7	2,4

Practica

practicumopdracht 1

Voedingsstoffen aantonen

BASISSTOF 1

MATERIAAL

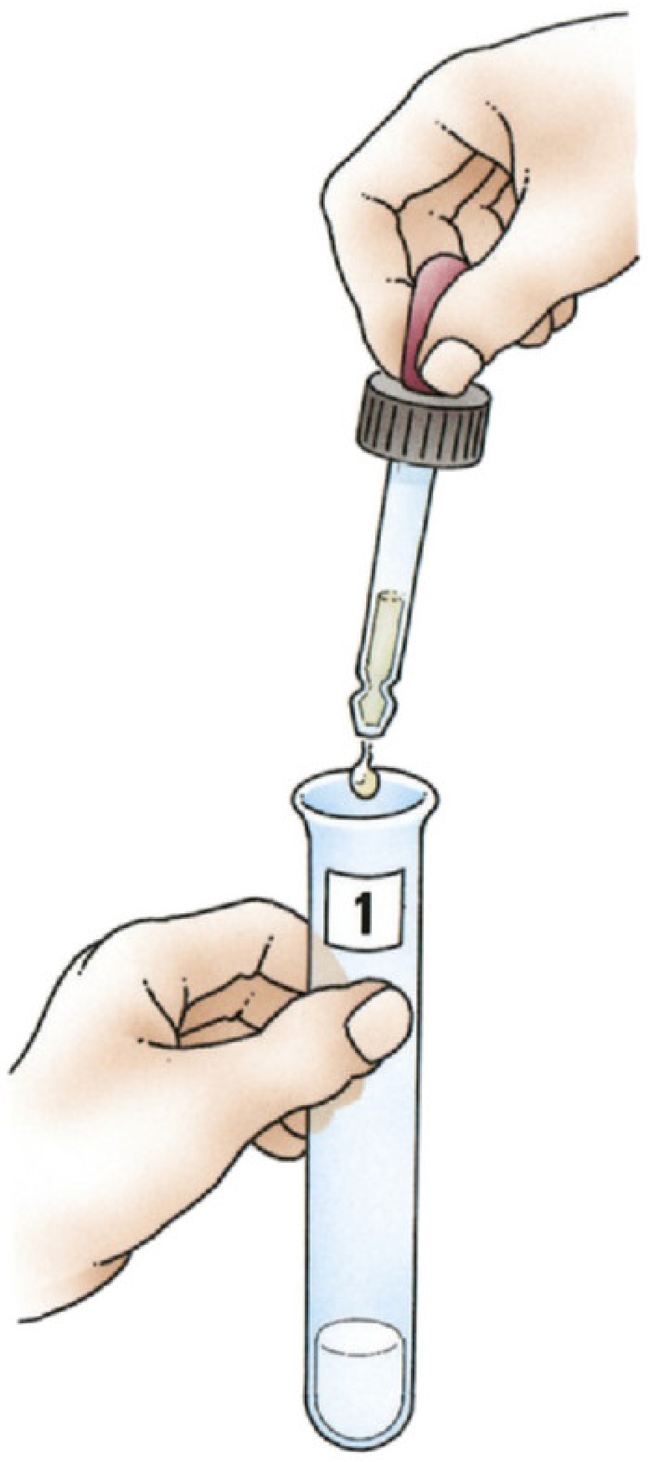
- een reageerbuisrek
- 4 reageerbuizen
- 4 etiketten
- een brander met een driepoot en een gaasje
- een reageerbuisknijper
- een bekerglas van 500 mL
- een mes (of een spatel)
- eiwit van een ongekookt kippenei
- glucose
- zetmeel
- vitamine C-oplossing
- biureet-reagens in een flesje met een druppelpipet
- fehling-reagens in een flesje met een druppelpipet
- jodiumoplossing in een flesje met een druppelpipet
- DCPIP-oplossing in een flesje met een druppelpipet

Sommige voedingsstoffen kun je aantonen met indicatoren. In deze practicumopdracht onderzoek je welke kleurveranderingen er optreden als je met indicatoren een voedingsstof aantoont.

METHODE

- Nummer de reageerbuizen van 1 tot en met 4.
- Vul het bekerglas voor de helft met water, zet dit op de driepoot met gaasje en verhit het water met de brander.
- Eiwitten: doe een beetje eiwit in reageerbuis 1. Voeg ongeveer 3 mL water toe en schud de buis voorzichtig. Voeg dan enkele druppels biureet-reagens toe (zie afbeelding 1).
- Glucose: doe een mespunt glucose in reageerbuis 2. Voeg ongeveer 3 mL water toe en schud tot de glucose is opgelost. Voeg vervolgens ongeveer tien druppels fehling-reagens toe. Zet de buis in het bekerglas met water en breng het water aan de kook. Verhit de buis tot de inhoud kookt.
- Zetmeel: doe een mespunt zetmeel in reageerbuis 3. Voeg ongeveer 3 mL water toe. Voeg vervolgens enkele druppels jodiumoplossing toe. Schud de buis.
- Vitamine C: doe een beetje vitamine C-oplossing in reageerbuis 4. Voeg één druppel DCPIP-oplossing toe. Schud de buis.

▼ **Afb. 1** Druppels toevoegen met een druppelpipet.



RESULTAAT

Maak een tabel van de voedingsstoffen en hun indicator en noteer welke kleurverandering je waarneemt.

practicumopdracht 2

Voedingsstoffen in voedingsmiddelen aantonen

BASISSTOF 1

MATERIAAL
- een reageerbuisrek
- 4 reageerbuizen
- 4 etiketten
- een brander met een driepoot en een gaasje
- een reageerbuisknijper
- een bekerglas van 500 mL
- een mes en een schaaltje of een vijzel
- voedingsmiddelen, bijvoorbeeld brood, worst, ui, melk, sinas
- biureet-reagens in een flesje met een druppelpipet
- fehling-reagens in een flesje met een druppelpipet
- jodiumoplossing in een flesje met een druppelpipet
- DCPIP-oplossing in een flesje met een druppelpipet

In deze practicumopdracht onderzoek je met indicatoren of eiwitten, glucose, zetmeel en vitamine C in bepaalde voedingsmiddelen voorkomen.

METHODE
- Nummer de reageerbuizen van 1 tot en met 4.
- Neem een voedingsmiddel. Een vast voedingsmiddel maak je goed fijn.
- Doe in elke reageerbuis een kleine hoeveelheid voedingsmiddel. Voeg aan de reageerbuizen ongeveer 2 mL water toe en schud de buizen. Als het voedingsmiddel vloeibaar is, doe je in elke reageerbuis ongeveer 2 mL van het voedingsmiddel.
- Vul het bekerglas voor de helft met water en zet dit op de driepoot met gaasje. Verhit het water met de brander.
- Onderzoek met behulp van de indicatoren of het voedingsmiddel eiwitten, glucose, zetmeel of vitamine C bevat. Verhit een reageerbuis waar je fehling-reagens aan hebt toegevoegd in het bekerglas tot de inhoud kookt.
- Noteer je resultaten.
- Onderzoek vervolgens op dezelfde manier enkele andere voedingsmiddelen.
- Maak tussendoor de buizen steeds goed schoon.

RESULTAAT
- Noteer in een overzicht welke voedingsmiddelen je hebt onderzocht en geef aan welke voedingsstoffen de voedingsmiddelen bevatten.
- Vergelijk je gegevens met die van medeleerlingen. Probeer de oorzaak te achterhalen als de resultaten niet overeenkomen.

practicumopdracht 3

De werking van speeksel

BASISSTOF 3

MATERIAAL
- een reageerbuisrek
- 9 reageerbuizen
- 9 etiketten
- een pipet van 2 mL
- een bekerglas met gedestilleerd water
- zetmeeloplossing van 2%
- een waterbad
- joodoplossing in een flesje met een druppelpipet
- fehling-reagens in een flesje met een druppelpipet
- een bekerglas
- een brander met een driepoot en een gaasje

In deze practicumopdracht onderzoek je de werking van amylase in speeksel. Je gebruikt daarbij jodiumoplossing en fehling-reagens als indicatoren.

METHODE
- Nummer de reageerbuizen van 1 tot en met 9.
- Verzamel speeksel in je mond. Vul reageerbuis 9 tot ongeveer 1,5 cm hoogte met speeksel. (Dun, waterig speeksel geeft een beter resultaat dan dik, slijmerig speeksel.)
- Verdun het speeksel met een gelijke hoeveelheid gedestilleerd water. Meng goed.
- Pipetteer in reageerbuis 1 en 2 elk 1 mL gedestilleerd water.
- Pipetteer in reageerbuis 3 en 4 elk 1 mL speekseloplossing.
- Spoel de pipet goed schoon.
- Pipetteer in reageerbuis 5 tot en met 8 elk 2 mL zetmeeloplossing.
- Zet de reageerbuizen in het waterbad bij 37 °C. Laat de buizen 5 minuten op temperatuur komen.
- Doe de inhoud van reageerbuis 1 bij die van reageerbuis 5, die van 2 bij die van 6, die van 3 bij die van 7 en die van 4 bij die van 8. Laat reageerbuis 5 tot en met 8 nog 10 minuten in het waterbad staan bij 37 °C.

– Voeg aan reageerbuis 5 en 7 elk vijf druppels jodiumoplossing toe. Voeg aan reageerbuis 6 en 8 elk tien druppels fehling-reagens toe. Schud de buizen. Zet reageerbuis 6 en 8 in een bekerglas met water. Verhit het bekerglas met de reageerbuizen tot de inhoud kookt.

RESULTAAT

Maak een overzicht van je resultaten.

CONCLUSIE

1 Welke conclusie kun je trekken?
2 Buis 5 en 6 dienen als controleproef. Leg dit uit.

practicumopdracht 4

De werking van alvleessap en gal

BASISSTOF 3

MATERIAAL

- een reageerbuisrek
- 4 reageerbuizen
- 4 etiketten
- 4 pipetten (2 van 1 mL, 1 van 5 mL en 1 van 10 mL)
- alvleessap (pancreatineoplossing van 4%)
- gal
- olijfolie
- gedestilleerd water
- een waterbad
- fenolftaleïneoplossing (1% in een flesje met een druppelpipet)
- natriumhydroxide (0,05 mol/L NaOH)

Alvleessap en gal spelen een rol bij de vertering van vetten in de twaalfvingerige darm en de dunne darm. In deze practicumopdracht onderzoek je wat de invloed van gal is op de werking van alvleessap.

ONDERZOEKSVRAAG

Formuleer een onderzoeksvraag bij dit onderzoek.

HYPOTHESE

Stel een hypothese op bij je onderzoeksvraag.

METHODE

- Nummer de reageerbuizen van 1 tot en met 4.
- Pipetteer in reageerbuis 2 en 4 elk 5 mL alvleessap.
- Pipetteer in reageerbuis 3 en 4 elk 1 mL gal.
- Spoel de pipetten goed schoon.
- Pipetteer in elke reageerbuis 0,5 mL olijfolie.
- Pipetteer hierna in elke reageerbuis zoveel gedestilleerd water dat er 10 mL vloeistof in de reageerbuis zit.
- Spoel de pipetten goed schoon.
- Schud de reageerbuizen goed en zet ze weg in het waterbad bij 37 °C. Laat de buizen staan tot de volgende les.

Na 1 tot 3 dagen

Fenolftaleïne is kleurloos in een zuur milieu en rood in een basisch milieu. Door natriumhydroxide toe te voegen neutraliseer je de vetzuren die bij de vertering vrijkomen.

- Voeg aan elke reageerbuis twee druppels fenolftaleïneoplossing toe.
- Pipetteer in reageerbuis 1 telkens 0,1 mL natriumhydroxide. Schud de buis na elke toevoeging. Stop met toevoegen als de vloeistof in de reageerbuis blijvend een roze kleur krijgt. Noteer hoeveel milliliter natriumhydroxide je hebt toegevoegd.
- Doe hetzelfde met de andere reageerbuizen.

RESULTAAT

- Maak een overzicht van je resultaten.
- Leg uit waarom je telkens 0,1 mL natriumhydroxide moet toevoegen totdat de oplossing in de reageerbuis blijvend roze kleurt.

- In welke reageerbuis of reageerbuizen is het meeste vet verteerd? Leg je antwoord uit.
- In welke reageerbuis of reageerbuizen is ook vet verteerd? Leg je antwoord uit.
- In welke reageerbuizen heeft geen vertering van vet plaatsgevonden? Leg uit waardoor niet.

CONCLUSIE

1 Welke conclusie kun je trekken?

practicumopdracht 5

Je BMI en tailleomtrek bepalen

▸▸ BASISSTOF 5

MATERIAAL
- een weegschaal
- een meetlint en eventueel meetlat
- de BMI-index (afbeelding 40)

Voor een gezond gewicht moet de voedselopname zijn afgestemd op het energieverbruik. In deze practicumopdracht onderzoek je of je een gezond gewicht hebt.

ONDERZOEKSVRAAG

Formuleer een onderzoeksvraag bij dit onderzoek.

HYPOTHESE

Stel een hypothese op bij je onderzoeksvraag.

METHODE

- Weeg jezelf (thuis) wanneer je je gewicht niet weet.
- Bepaal je lengte (in centimeters) wanneer je niet weet hoe lang je bent.
- Bepaal met behulp van de BMI-index van afbeelding 40 of je een gezond gewicht hebt.
- Meet je tailleomtrek om het smalste punt met een meetlint.

RESULTATEN

Beantwoord de volgende vragen.
- Heb je een gezond gewicht volgens de BMI-index?
- Heb je een gezonde tailleomtrek?

CONCLUSIE

1 Welke conclusie kun je trekken?

DISCUSSIE

2 Zijn de resultaten van de practicumopdracht betrouwbaar? Leg je antwoord uit.

Samenvatting

LEERDOEL 1 ▶▶ BASISSTOF 1

Je kunt de kenmerken en functies noemen van zes groepen voedingsstoffen en van voedingsvezel.

- Voedingsmiddelen: alles wat je eet en drinkt.
- Voedingsstoffen: de bruikbare bestanddelen van voedingsmiddelen.
 - Voedingsstoffen kunnen dienen als bouwstoffen voor de productie van organische moleculen bij de voortgezette assimilatie. Deze moleculen zijn nodig voor groei en ontwikkeling, voor vervanging van afgestorven cellen en voor herstel van verwondingen.
 - Voedingsstoffen kunnen dienen als brandstoffen om energie te leveren voor de dissimilatie. De energie is nodig om te kunnen bewegen, voor het op peil houden van de lichaamstemperatuur en voor groei, ontwikkeling en herstel.
- Eiwitten (proteïnen):
 - Functie: vooral bouwstoffen. Komen voor in tussencelstof (collageen, kraakbeen, been), zijn nodig bij het transport van stoffen (transporteiwitten), de celcommunicatie (signalen overbrengen; hormonen, neurotransmitters) en bij chemische reacties (enzymen).
 - Een teveel aan opgenomen eiwitten wordt niet opgeslagen; ze worden omgezet in glucose en verbrand.
 - Essentiële aminozuren: moeten in het voedsel aanwezig zijn, omdat ze niet of in onvoldoende hoeveelheden in het lichaam van de mens kunnen worden gevormd.
- Koolhydraten (sachariden):
 - Functie: vooral brandstoffen, ook bouwstoffen (o.a. in DNA, ATP en in celmembranen).
 - Een teveel aan opgenomen koolhydraten wordt omgezet in glycogeen of vet en opgeslagen.
- Voedingsvezel: stoffen afkomstig van plantaardige voedingsmiddelen die niet door enzymen van de mens kunnen worden verteerd.
 - Functie: de darmwerking bevorderen.
- Vetten (lipiden):
 - Functie: vooral brandstoffen, ook bouwstoffen (fosfolipiden in membranen). Oplosmiddel voor sommige vitaminen: A, D, E en K.
 - Een teveel aan opgenomen vetten wordt opgeslagen onder de huid en rondom organen.
 - Essentiële vetzuren: moeten in het voedsel aanwezig zijn.
- Water:
 - Functie: bouwstof (in lichaamscellen). Dient ook als oplosmiddel en transportmiddel en bepaalt samen met de opgeloste stoffen de osmotische waarde van vloeistoffen in het lichaam.
 - Organismen bestaan voor het grootste deel uit water.
- Mineralen (zouten):
 - Functie: bouwstoffen (bijv. calcium en fosfor in de tussencelstof van beenweefsel en tandbeen).
 - Spoorelementen: mineralen die in geringe hoeveelheden in het voedsel aanwezig zijn. Spoorelementen zijn vaak bestanddeel van enzymen of hormonen.
- Vitaminen:
 - Functie: bouwstoffen (o.a. als bestanddeel van enzymen).
 - Bij een tekort aan vitaminen in het voedsel ontstaan gebreksziekten. Een teveel kan ook schadelijk zijn.
 - Vitaminen (behalve vitamine K) kunnen niet in het lichaam worden gevormd en moeten dus in het voedsel aanwezig zijn. Sommige vitaminen kunnen in het lichaam worden gevormd uit provitaminen (die in het voedsel aanwezig moeten zijn).

LEERDOEL 2 ▶▶ BASISSTOF 1

Je kunt de bouw, werking en functies van de verteringsorganen van de mens beschrijven en de relatie herkennen tussen de bouw en hun functie.

- Darmperistaltiek: het afwisselend samentrekken van kringspieren en lengtespieren in de wand van het darmkanaal waardoor de voedselbrij wordt voortgeduwd, gekneed en gemengd met de verteringssappen.
- Verteringssappen: worden aan de voedselbrij afgegeven door verteringsklieren en bevatten enzymen.
- Vertering: in het darmkanaal (verteringskanaal).
 - Mechanische vertering: kauwen en kneden (darmperistaltiek).
 - Chemische vertering: enzymen in verteringssappen breken voedingsstoffen af tot moleculen die cellen in de darmwand kunnen opnemen.
- Mondholte:
 - Speekselklieren: produceren speeksel.
 - Gebit: voedsel afbijten en verkleinen (kauwen).
- Keelholte:
 - Slikreflex: de huig sluit de neusholte af en het strotklepje sluit de luchtpijp af.
- Slokdarm: verbindt de keelholte met de maag.
- Maag:
 - Functie: tijdelijke opslagplaats van voedsel.
 - Kringspieren bij de ingang en de uitgang (maagportier) kunnen de maag afsluiten.

 - Maagsapklieren produceren maagsap.
 - Zoutzuur (HCl) in maagsap zorgt voor een sterk zuur milieu waardoor bacteriën in het voedsel worden gedood.
 - Slijm in maagsap beschermt de maagwand tegen het maagsap.
- Lever:
 - Functie voor de spijsvertering: produceert gal.
 - Gal wordt tijdelijk opgeslagen in de galblaas en afgevoerd via de galbuis.
 - Gal: bevat galkleurstoffen en galzouten.
 - Emulgeren: galzouten verdelen grote vetdruppels in het voedsel in kleine druppeltjes waardoor het oppervlak van de vetdruppels wordt vergroot.
- Alvleesklier (pancreas):
 - Functie: produceert alvleessap.
- Twaalfvingerige darm (eerste deel van de dunne darm):
 - Functie: vermengt gal en alvleessap met de voedselbrij.
- Dunne darm: darmsapklieren produceren darmsap.

LEERDOEL 3 ▸▸ BASISSTOF 2

Je kunt verschillen en overeenkomsten herkennen tussen organen en orgaanstelsels van de mens en van verschillende diersoorten.

- Fagocytose: opnemen van voedsel in de cel door het afsnoeren van blaasjes (voedingsvacuole).
 - Voedingsvacuole: een blaasje met voedingsstoffen dat ontstaat door instulping en afsnoering van het celmembraan.
- Intracellulaire vertering: vertering in de cel.
- Extracellulaire vertering: vertering vindt plaats in een speciale ruimte in het lichaam.
 - Maag-darmholte: een holte in het lichaam met maar één opening die mond en anus tegelijk is en waarin vertering van voedsel plaatsvindt.

LEERDOEL 4 ▸▸ BASISSTOF 3

Je kunt beschrijven waar en op welke wijze voedingsstoffen worden verteerd in het darmkanaal en welke factoren daarop van invloed zijn.

- Speeksel: bevat slijm en amylase.
 - Slijm: maakt het voedsel glad, waardoor het inslikken gemakkelijker gaat.
 - Amylase (pH-optimum 6,6) verteert zetmeel tot maltose.
 - De speekselproductie wordt geregeld door het autonome zenuwstelsel.
- Maagsap: bevat zoutzuur, slijm en pepsinogeen (een inactief pro-enzym).
 - Een inactief pro-enzym: een niet-actief enzym dat door chemische reacties met andere stoffen wordt omgezet in een actief enzym.
 - Zoutzuur (HCl) activeert pepsinogeen in maagsap tot pepsine.
 - Pepsine activeert pepsinogeen tot pepsine (positieve terugkoppeling).
 - Pepsine (pH-optimum 2,5) verteert eiwitten tot lange polypeptiden (vrij lange aminozuurketens).
 - Bij een lage pH in de twaalfvingerige darm is de maagportier samengetrokken.
 - Bij een licht basische pH in de twaalfvingerige darm is de maagportier ontspannen.
- Gal: de galblaas geeft gal af als vethoudend voedsel de wand van de twaalfvingerige darm passeert.
- Alvleessap: de alvleesklier geeft alvleessap af als de pH in de twaalfvingerige darm laag is.
 - Bevat amylase, trypsine, peptidasen en lipase.
 - Is basisch waardoor de pH in de twaalfvingerige darm stijgt (pH 8 à 9).
 - Door vrijkomen van vetzuren daalt de pH van de voedselbrij naar ongeveer 7 als het in de dunne darm aankomt.
- Darmsap:
 - Bevat maltase, sacharase, lactase en peptidasen.
 - De enzymen voltooien de vertering van eiwitten en koolhydraten.

LEERDOEL 5 ▸▸ BASISSTOF 4

Je kunt beschrijven waar en op welke wijze voedingsstoffen worden opgenomen in het darmkanaal en welke factoren daarop van invloed zijn.

- Dunne darm:
 - Darmwand: groot oppervlak door darmplooien, darmvlokken en microvilli (uitstulpingen van darmepitheelcellen).
 - Darmepitheel: de buitenste laag cellen van de darmvlokken. Functie: opname van water, voedingsstoffen en verteringsproducten.
- Resorptie: de opname van stoffen via de darmwand in het bloed en de lymfe.
 - Kan plaatsvinden in het hele darmkanaal.
 - In de dunne darm vindt de meeste resorptie plaats door het grote oppervlak.
- Resorptie door:
 - passief transport: diffusie via de fosfolipiden, porie-eiwitten of transporteiwitten in het membraan;
 - actief transport (er is energie nodig uit de omzetting van ATP): darmepitheelcellen nemen stoffen op tegen het concentratieverval in en er vindt selectie van stoffen plaats.
- In de darmepitheelcellen worden:
 - vetten gevormd uit glycerol en vetzuren. Hierna vindt opname plaats in bloed of lymfe. De meeste vetten worden opgenomen in de lymfe;

- aminozuren, monosachariden (o.a. glucose), vetten, mineralen en vitaminen opgenomen in het bloed.
- Het bloed uit de haarvaten van de maag tot en met de dikke darm stroomt door de poortader naar de lever.
- Blindedarm met appendix (wormvormig aanhangsel):
 - Bij blindedarmontsteking is de appendix ontstoken.
- Dikke darm:
 - Functie: resorptie van water, mineralen, glucose en vitamine K. Bij diarree wordt niet voldoende water uit de brij van onverteerde voedselresten geresorbeerd.
 - Darmbacteriën (darmflora): sommige soorten darmbacteriën produceren enzymen die cellulose in de celwanden van plantaardige voedselresten verteren. Andere soorten darmbacteriën produceren stoffen die belangrijk zijn voor de mens, zoals vitamine K.
- Endeldarm met anus:
 - Functie: verzamelen en tijdelijk opslaan van onverteerde voedselresten (ontlasting of feces).
 - Anus: kringspier die de endeldarm afsluit.

LEERDOEL 6 BASISSTOF 5

Je kunt aangeven wat gezonde voeding is en wat de gezondheidsrisico's zijn van ongezonde of van te veel voeding.

- Voor informatie over voedingsstoffen, voedingsmiddelen en voedingspatronen in relatie tot gezondheid kun je de Schijf van Vijf gebruiken.
- Onbewerkt, vers en plantaardig voedsel is gezonder.
 - Sterk bewerkte voedingsmiddelen bevatten vaak veel kleurstoffen, smaakstoffen, geurstoffen, suiker, verzadigd vet en zout, en weinig mineralen, vitaminen en vezels.
 - Wanneer je veel sterk bewerkte voedingsmiddelen eet, heb je een verhoogde kans op welvaartsziekten als obesitas, diabetes type 2 en hart- en vaatziekten.
- Als je meer energie via je voeding binnenkrijgt dan je lichaam nodig heeft, loop je het risico zwaarder en dikker te worden door opslag van vet in het onderhuidse bindweefsel en rondom organen in je buik (buikvet).
 - De energiebehoefte van een mens is o.a. afhankelijk van het geslacht, de leeftijd, de omgevingstemperatuur, het lichaamsgewicht en de lichamelijke inspanning.
 - Te veel buikvet verhoogt de kans op hart- en vaatziekten, diabetes en kanker.
 - Door met je voedsel minder energie binnen te krijgen dan je verbruikt, val je af (bijv. producten kiezen met een gezondere samenstelling, tussendoortjes laten staan en meer bewegen).
 - Door je tailleomtrek te bepalen en met de Body Mass Index (BMI) kun je bepalen of je een gezond gewicht hebt.
 - Bij een te lage (ondergewicht) of te hoge (overgewicht) BMI heb je een grotere kans op ziekten.
- Cholesterol wordt in je bloed vervoerd door lipoproteïnen.
 - Cholesterol is een belangrijke bouwstof en je kunt niet zonder.
- VLDL (Zeer (very) Lage Dichtheid Lipoproteïne): lipoproteïnen die bestaan uit de cholesterol die je lever aanmaakt en andere vetten.
 - VLDL wordt afgegeven aan het bloed.
 - De cellen in weefsels nemen de meeste vetten uit VLDL op.
- LDL (Lage Dichtheid Lipoproteïne) ontstaat uit VLDL en bevat voornamelijk cholesterol.
 - Het merendeel van het LDL wordt opgenomen in de lever, bijnieren en teelballen of eierstokken.
 - Overtollige LDL-cholesterol in het bloed kan zich afzetten tegen beschadigingen aan de binnenwand van de bloedvaten, waardoor deze kunnen dichtslibben en hart- en vaatziekten ontstaan.
 - Verzadigde vetzuren verhogen het LDL-gehalte.
- HDL (Hoge Dichtheid Lipoproteïne) voert LDL uit het bloed af naar de lever waar het wordt afgebroken.
 - HDL verlaagt het cholesterolgehalte van het bloed.
 - Onverzadigde vetzuren verhogen het HDL-gehalte.
- De cholesterol-HDL-ratio bepaalt of je een verhoogde kans hebt op hart- en vaatziekten.
 - Het totale cholesterolgehalte delen door het HDL.
 - Bij een ratio kleiner dan 4 is er geen verhoogde kans op hart- en vaatziekten.

COMPETENTIES/VAARDIGHEDEN

Je hebt de volgende vaardigheden geoefend:

- doelgericht zoeken, selecteren en verwerken van informatie;
- geven van een beargumenteerde mening;
- toepassen van verschillende fasen van natuurwetenschappelijk onderzoek;
- verzamelen, overzichtelijk weergeven en analyseren van data;
- verklaren hoe voeding invloed heeft op de niveaus van moleculen, cellen, weefsels, organen en organismen (systeemdenken);
- analyseren welke invloed voeding heeft op de gezondheid;
- vorm-functiedenken op de niveaus van moleculen, cellen, weefsels, organen, organismen, populaties, ecosystemen en biosfeer;
- beredeneren van gevolgen van veranderingen in een levensgemeenschap of ecosysteem (ecologisch denken).

Examentrainer

SUSHI

Bron: examen havo 2016-1, vraag 12 tot en met 16.

In een Frans laboratorium voor bio-informatica is het DNA van de zeebacterie *Zobellia galactivorans* geanalyseerd. Daarbij is een bijzondere overeenkomst tussen het DNA van deze zeebacterie en het DNA van darmbacteriën ontdekt.

De zeebacteriën maken enzymen om voedingsstoffen uit zeewier te verteren. Deze enzymen blijken ook door bepaalde menselijke darmbacteriën te worden gemaakt. Nader onderzoek wijst uit dat de genen voor die enzymen alleen voorkomen in darmbacteriën die geïsoleerd zijn uit poep van Japanners. Ze worden nooit aangetroffen in poep van Noord-Amerikanen. Waarschijnlijk hebben Japanse darmbacteriën de genen voor deze enzymen lang geleden overgenomen van zeebacteriën in het voedsel. En voor de bacteriën die in de darmen van Japanners leven, heeft dit extra DNA een groot voordeel. Japanners eten gemiddeld 14 g gedroogd zeewier per dag. Dit zeewier heeft voor de mens een lage voedingswaarde, want het bevat voornamelijk vezels. Deze vezels kunnen door de darmbacteriën met de zeebacterie-enzymen worden afgebroken tot voor de bacterie bruikbare stoffen. De gastheer profiteert ook van de door de bacterie verkregen eigenschap: de zeebacterie-enzymen verteren zeewier extracellulair (buiten de cel) en een deel van de verteringsproducten wordt door de darm opgenomen voordat de bacteriën deze producten zelf kunnen gebruiken.

Tegenwoordig hebben veel bacteriën in de darmen van Japanners genen van de zeebacterie.

2p **1** Leg uit hoe darmbacteriën met genen van de zeebacterie door natuurlijke selectie talrijk zijn geworden in de darmflora van Japanners.

De darmbacteriën scheiden enzymen uit die extracellulair grote organische moleculen afbreken tot kleinere opneembare moleculen. Ook bij de mens treedt extracellulaire vertering op.

2p **2** Geef hiervan een voorbeeld. Noteer de naam van een enzym, de klier waar dit enzym geproduceerd wordt en beschrijf de omzetting die dit enzym bewerkstelligt.

Vertering van cellulose uit de vezels van het zeewier door de darmbacterie levert bruikbare voedingsstoffen op voor de gastheer.

2p **3** Welke voedingsstoffen zijn dit?

A mineralen
B monosachariden
C nucleotiden
D vitaminen

Zeewier wordt door Japanners gebruikt bij het maken van sushi. Sushi bestaat uit een hapje rijst omwikkeld met gedroogd zeewier, nori genoemd. De sushi is vaak gevuld met vis, garnalen of groenten.

▼ **Afb. 1** Sushi.

Overmatige consumptie van sushi is niet zonder gevaar. De Amerikaanse acteur Jeremy Piven moest in het ziekenhuis worden opgenomen. Hij had last van duizelingen, evenwichtsstoornissen en geheugenproblemen. Dokters stelden de diagnose kwikvergiftiging. Piven at geen vlees, maar tweemaal daags sushi met vis. Vis, vooral tonijn kan veel kwik bevatten. Onderzoek heeft zelfs uitgewezen dat het stukje blauwvintonijn in één portie Japanse sushi meer kwik bevat dan de ADI-waarde (aanvaardbare dagelijkse inname). Zeeën en oceanen zijn vervuild met kwik. Anaerobe bacteriën zetten dit zware metaal om in dimethylkwik, dat veel giftiger is dan anorganische kwikverbindingen. Via deze bacteriën komt het kwik in de voedselketen en via onder andere garnalen en haring in tonijn. Dimethylkwik tast de uitlopers van zenuwen aan.

Sushi met garnalen vormt geen bedreiging voor de gezondheid.

2p **4** Waardoor is de concentratie kwik in sushi met tonijn wel boven de ADI-waarde en die in sushi met garnalen niet?

A Tonijnen assimileren meer dan ze dissimileren, garnalen niet.
B Tonijnen eten meer dan garnalen eten.
C Tonijnen hebben een grotere variatie in voedsel dan garnalen.
D Tonijnen staan hoger in de voedselpiramide dan garnalen.

Het centraal zenuwstelsel bestaat uit het ruggenmerg, de hersenstam, de kleine hersenen en de grote hersenen.

1p **5** Welk deel van het centraal zenuwstelsel is bij Piven door kwikvergiftiging beschadigd, waardoor hij geheugenproblemen had?

VOEDING IN HET ZIEKENHUIS

Bron: examen havo 2017-2, vraag 1 tot en met 3.

Evan werkt als diëtist in het voedingsteam van een ziekenhuis. Tijdens zijn werk komt hij met veel aspecten van voeding in aanraking.

Het voedingsteam krijgt te maken met patiënten met zeer verschillende problemen. Hartpatiënten met overgewicht of een te hoog cholesterolgehalte worden door de cardioloog doorverwezen om hun dieet aan te passen. Nierpatiënten krijgen een dieet waarbij specifiek op een aantal voedingsstoffen wordt gelet. Mensen die bestraald zijn, hebben soms moeite met eten en een verstoorde spijsvertering. De meeste patiënten krijgen gewoon vast voedsel, maar sommigen krijgen hun voeding via een infuus in een bloedvat toegediend. Daarnaast moeten de diëtisten rekening houden met de medicatie van patiënten.

Bij mensen van wie de nieren minder goed functioneren, is de uitscheiding van ureum verstoord. Om te voorkomen dat de ureumconcentratie in het bloed te snel oploopt, adviseert Evan deze patiënten een aangepast dieet.

2p **6** Welke voedingsstoffen zijn in dit dieetadvies beperkt?
- A eiwitten
- B koolhydraten
- C vetten

De internist heeft Evan gevraagd aanwezig te zijn bij de controle van een patiënt met een resorptiestoornis. Bij deze stoornis worden te weinig of geen voedingsstoffen uit het voedsel opgenomen in het bloed. De benodigde voedingsstoffen moeten dan via een infuus in de bloedbaan worden toegediend.

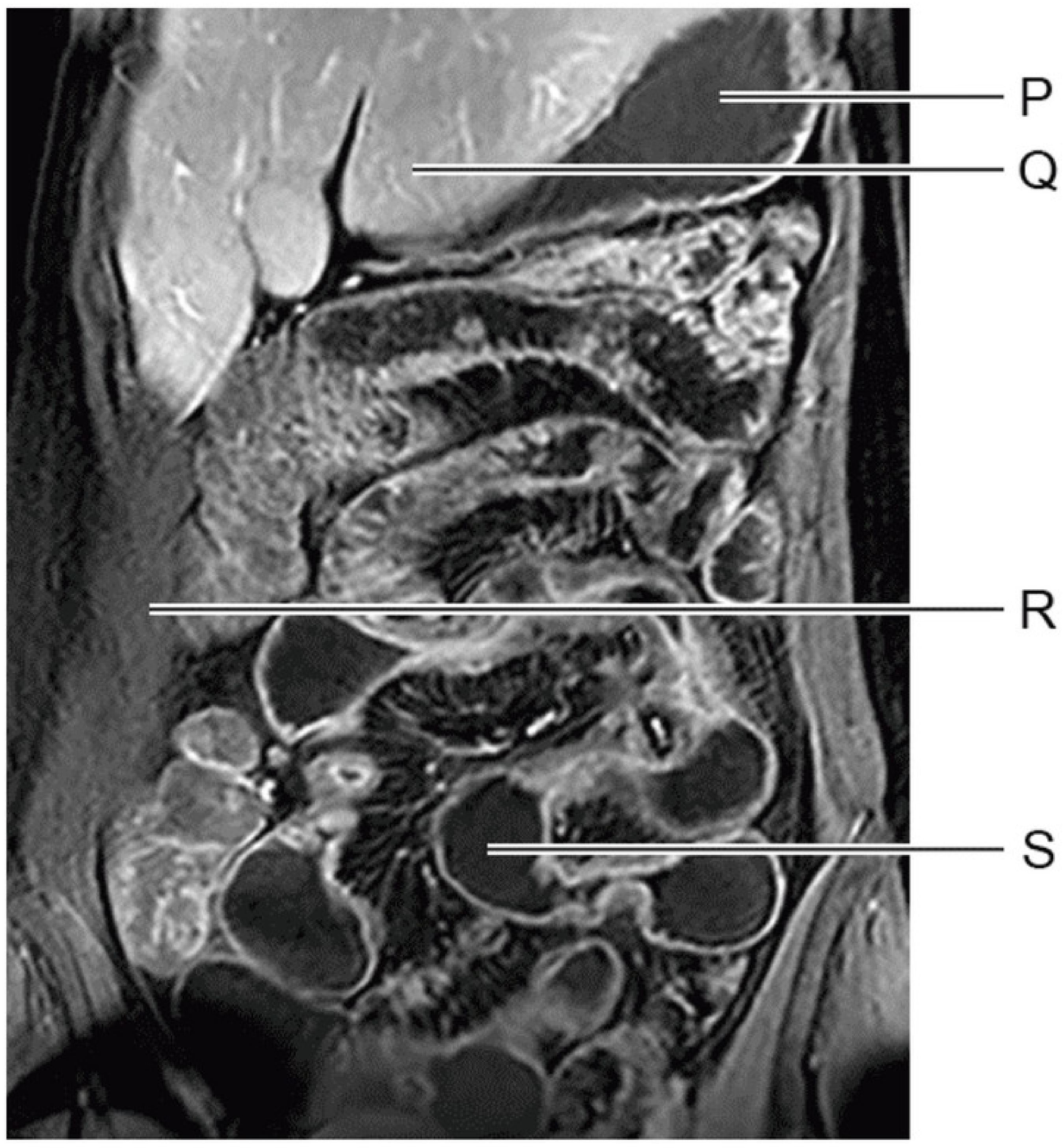
In afbeelding 2 is het beeld weergegeven van een MRI-scan van de patiënt met een resorptiestoornis.

1p **7** Noteer de letter die het gedeelte aangeeft dat bij deze patiënt niet goed functioneert.

Na de controle wordt Evan gevraagd een recept te schrijven voor de samenstelling van de infuusvloeistof. Voedingsstoffen in een normale maaltijd zijn onder andere zetmeel, eiwitten, glucose, vezels, vitaminen en aminozuren.

2p **8** Noteer welke van deze voedingsstoffen Evan in het recept moet opnemen.

▼ **Afb. 2** MRI-scan.



BROOD: GLUTENVRIJ EN JODIUMRIJK

Bron: examen havo 2014-2, vraag 1 tot en met 3 en 5.

Mensen met een glutenvrij dieet wordt door de diëtiste geadviseerd om bakkerszout met extra jodium te gebruiken als zij zelf hun brood bakken. In de jaren zestig van de vorige eeuw werden bakkers verplicht om jodiumhoudend zout toe te voegen aan het brood. Als we te weinig jodium binnenkrijgen, kunnen allerlei klachten ontstaan, zoals vermoeidheid, futloosheid en het koud hebben. Op de lange termijn zijn obstipatie, menstruatie- en vruchtbaarheidsstoornissen, spier- en gewrichtsklachten mogelijk. Jodium is een bestanddeel van het hormoon thyroxine. Bij kinderen kan jodiumtekort leiden tot groeiachterstand, verminderd leervermogen en in een enkel geval tot dwerggroei.

2p **9** Op welk levensverschijnsel heeft een jodiumtekort bij de mens het meeste effect?
- A celstofwisseling
- B gaswisseling
- C reactie op prikkels
- D spijsvertering
- E uitscheiding

Bij coeliakiepatiënten die gluten met hun voedsel binnenkrijgen, verdwijnen de darmvlokken voor een belangrijk deel.

3p **10** Leg uit welke effecten dit heeft op het functioneren van de dunne darm.

4 Transport

Een samenleving kan niet zonder transport. Water, elektriciteit, gas, levensmiddelen en afvalstoffen worden via wegen en leidingen aan- en afgevoerd. Bij grotere organismen is dat niet anders. Organen zijn met elkaar verbonden door leidingen en leidinkjes die stoffen en energie transporteren. In dit thema leer je over de bouw en werking van transportsystemen in organismen.

ONTDEKKEN
De perfecte moord? 148

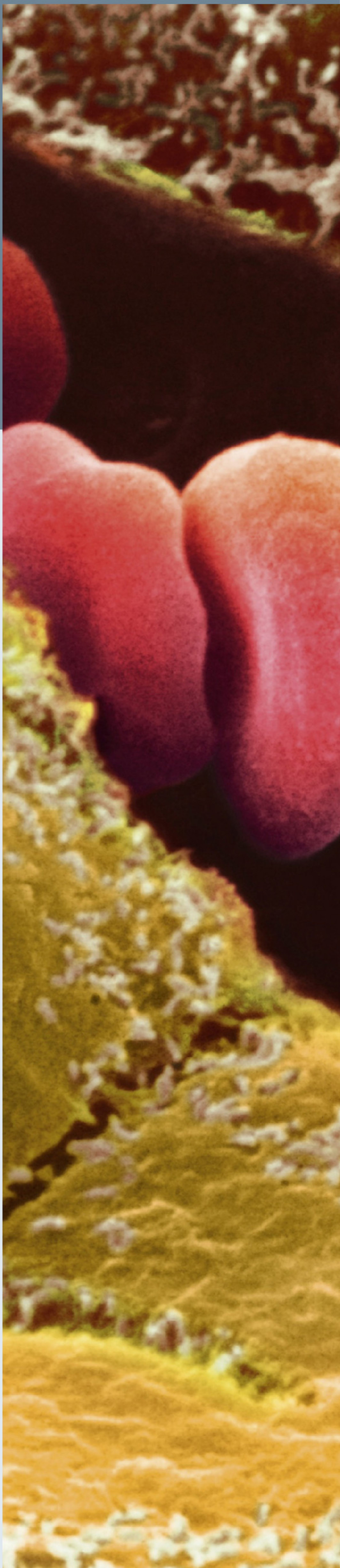
BASISSTOF
1 Transportsystemen 150
2 Het hart 159
3 Het bloedvatenstelsel 166
4 Het bloed 176
5 Weefselvloeistof en lymfe 182

SAMENHANG
Blozen maakt aantrekkelijk 186

PRACTICA 188

SAMENVATTING 191

EXAMENTRAINER 194







De perfecte moord?

BASISSTOF 5

Elke dag zijn er misdaadseries op de televisie. Rechercheurs worden op de zaak gezet. Een forensisch onderzoeker komt in beeld. Aan de hand van minieme sporen vertelt ze hoe en op welk tijdstip het slachtoffer is vermoord. Omwille van de geloofwaardigheid wordt voor zo'n scène een forensisch scenarioschrijver ingeschakeld.

De scène

Jij maakt deel uit van een team forensisch scenarioschrijvers. Jullie schrijven een scène waarin forensisch onderzoeker Angela van Wijst rapport uitbrengt aan inspecteur Van der Broek naar aanleiding van de dood van zakenman-miljonair Howard Hoeksema. De inspecteur laat zich maar moeilijk overtuigen. Ga uit van de volgende plot.

De plot

De bekende zakenman-miljonair Howard Hoeksema leidt een teruggetrokken bestaan in zijn villa in Wassenaar. Al zeven jaar is hij niet in het openbaar gezien. De zakenman heeft namelijk een ernstige vorm van hemofilie, een ziekte waarbij het stollingsmechanisme onvoldoende werkt. Een kleine wond kan al leiden tot grote problemen. Volgens ingewijden is zijn

villa geheel ingericht met zachte materialen, om hem tegen verwondingen te beschermen. Bezoek ontvangt Hoeksema zelden of nooit. Zelfs de post wordt gecontroleerd door een bediende.
De rijke kluizenaar heeft maar één grote passie: hij verzamelt orchideeën. Zijn verzameling omvat de mooiste orchideeën ter wereld. Slechts één orchidee heeft hij nog niet: de Rothschilds slipperorchidee (*Paphiopedilum rothschildianum*), een van de zeldzaamste orchideeën ter wereld, die alleen voorkomt op 500–1200 meter hoogte op de Kinabuluberg in Noord Borneo. Het is ook de duurste plant ter wereld. Eén exemplaar levert € 5.000 op.

De Telegraaf: 'Orchideeënkweker MOEST sterven.'

Op een dag krijgt de zakenman de plant opgestuurd. De afzender is onbekend. Vijf dagen later wordt Howard Hoeksema gevonden in zijn orchideeënkas. Dood. Een ongeluk denkt iedereen: gevallen en een inwendige bloeding gekregen. Maar inspecteur Van der Broek van de Wassenaarse recherche denkt daar anders over. Hij laat het lichaam onderzoeken door de forensische dienst. En die komt met een opmerkelijke verklaring.

▼ **Afb. 1** Rothschilds slipperorchidee.



Uit het onderzoek van Angela van Wijst van de forensische dienst blijkt dat Hoeksema dengue had. In de kas blijken inderdaad Aziatische tijgermuggen voor te komen, die de ziekte verspreiden. De bron is de Rothschilds slipperorchidee. In het water tussen plantenresten hangen larven, afkomstig van de Aziatische tijgermug, aan het wateroppervlak. Volgens de forensische dienst is de combinatie van dengue en hemofilie de zakenman fataal geworden. Waarschijnlijk is Hoeksema in zijn kas flauwgevallen en daarna overleden.

opdrachten

Jij maakt deel uit van een team van drie forensisch scenarioschrijvers. De scène die jullie gaan schrijven, bestaat uit een aantal dialogen.

1 In de eerste dialoog vertelt forensisch onderzoeker Angela van Wijst dat de zakenman dengue had. De inspecteur heeft daar weleens van gehoord, maar weet niet precies wat het is. In deze scène laat je Angela van Wijst uitleggen wat dengue is. Om deze deelscène te schrijven, moet je op internet uitzoeken wat dengue is.

2 In de tweede dialoog wil de inspecteur weten waarom Van Wijst denkt dat de zakenman dengue had. Zoek uit welke sporen op het lichaam wijzen op dengue.

3 In de derde dialoog legt Van Wijst op verzoek van de inspecteur uit wat er in het lichaam gebeurt als iemand dengue heeft. Zorg ervoor dat in deze scène de volgende begrippen worden gebruikt: *bloedplasma – haarvaten – lymfe – weefselvloeistof*. Laat Van Wijst door middel van een tekening aan de inspecteur uitleggen wat er precies in de haarvaten gebeurt onder normale omstandigheden en wat als iemand dengue heeft. Neem die tekening op in je scenario.

4 In het vierde deel wil de inspecteur weten hoe het komt dat iemand door dengue flauwvalt. Laat de forensisch onderzoeker uitleggen wat de gevolgen zijn van wat er in de haarvaten gebeurt bij dengue.

5 Nadat de gehele scène is geschreven, kunnen jullie de scène uitvoeren. Overleg dit met je docent.

Leerdoelen
– Je kunt beschrijven hoe opname, transport en afgifte van water met daarin opgeloste stoffen plaatsvindt in planten.
– Je kunt verschillende circulatiesystemen herkennen en de functies van een bloedsomloop benoemen.

1 Transportsystemen

Bij planten en dieren wordt water met opgeloste stoffen vervoerd door buizenstelsels. Planten houden het transport van mineralen en assimilatieproducten gescheiden. Bij dieren gaan voedingsstoffen en afvalstoffen door dezelfde buizen.

VATENSTELSELS

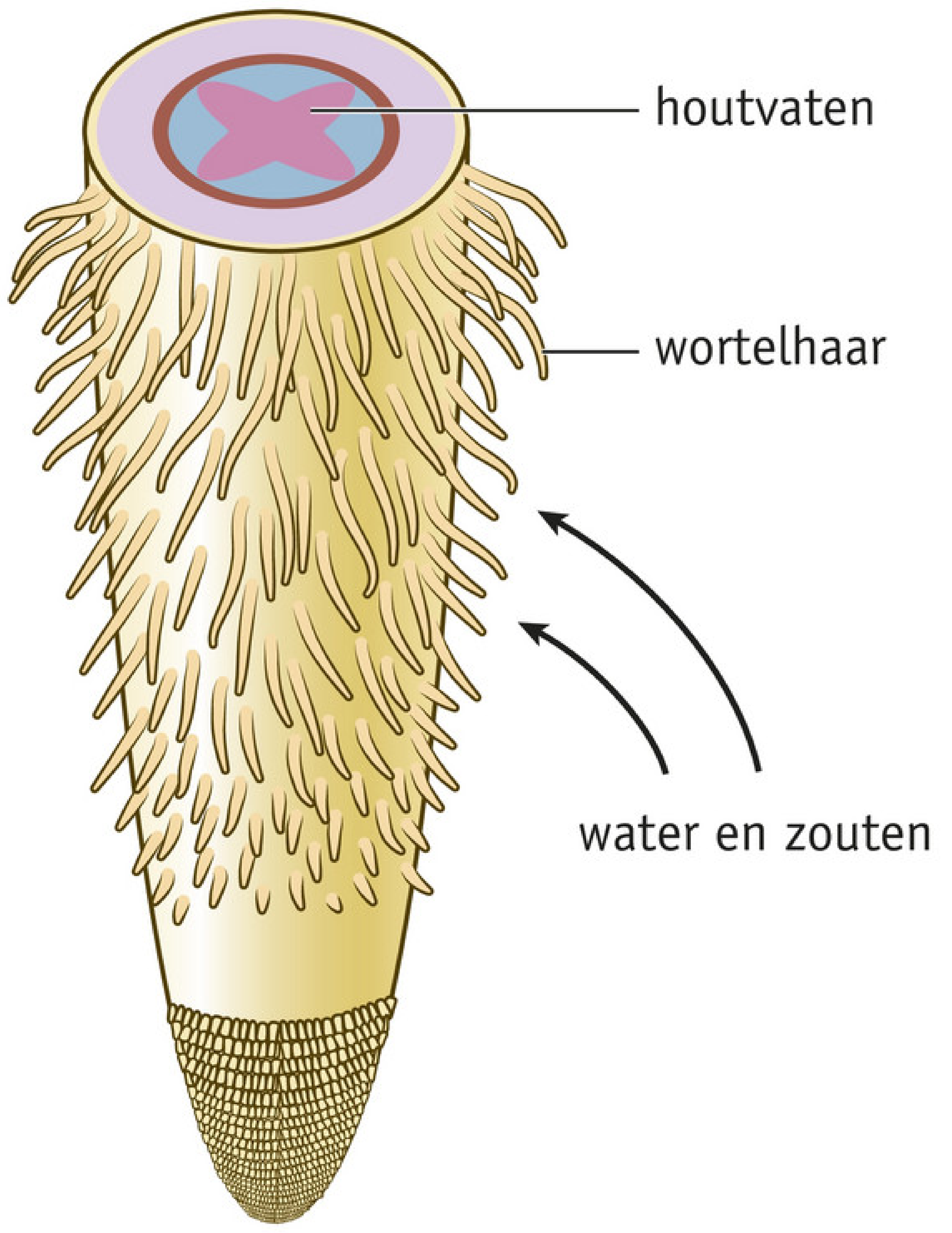
Bij eencellige organismen en bij organismen die uit enkele cellagen zijn opgebouwd, vindt transport van stoffen plaats over kleine afstanden. Het transport vindt dan onder andere plaats door diffusie. Grotere planten en dieren hebben voor het transport van stoffen een vatenstelsel dat bestaat uit een netwerk van buisjes. Bij dieren is dit transport circulair en voorzien van een 'pomp' (het hart). Bij planten vindt het transport plaats in twee richtingen en zijn vooral capillaire werking en verdamping de drijvende krachten.

Het vatenstelsel van planten bestaat uit houtvaten en bastvaten. De **houtvaten** vervoeren water en mineralen (zouten) van de wortels via de stengels naar de bladeren. Dit is de **anorganische sapstroom** (ook wel opwaartse sapstroom). De **bastvaten** vervoeren water en assimilatieproducten vanuit de bladeren naar alle delen van de plant. Dit is de **organische sapstroom**.

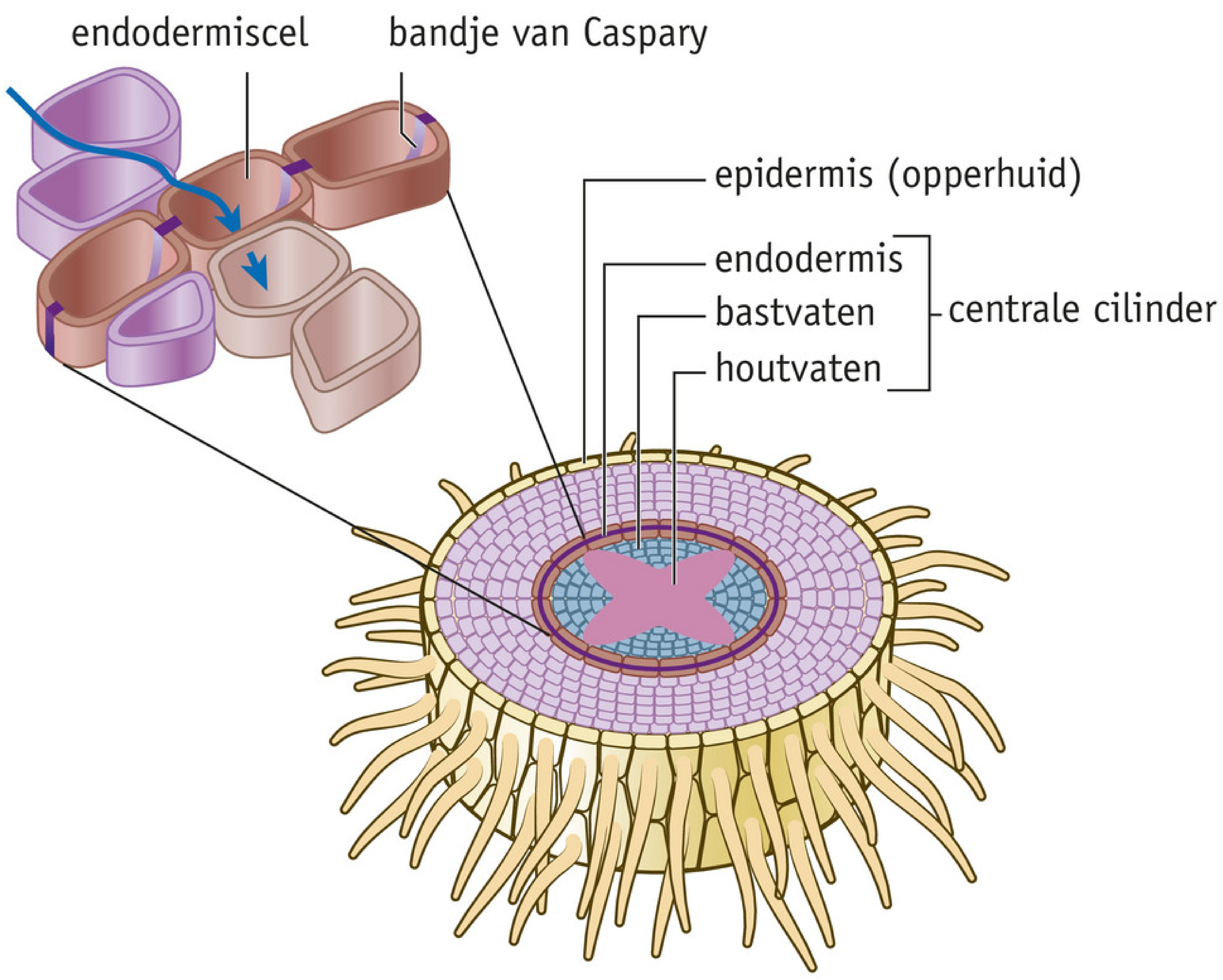
WORTELDRUK

Planten nemen via de wortels water en mineralen op. Dat gebeurt vooral via de worteluiteinden, waar cellen van de epidermis (opperhuid) zijn uitgegroeid tot **wortelharen**. Deze wortelharen zorgen voor fijne vertakkingen die het worteloppervlak sterk vergroten (zie afbeelding 1).

Afb. 1 Jonge wortel (schematisch).



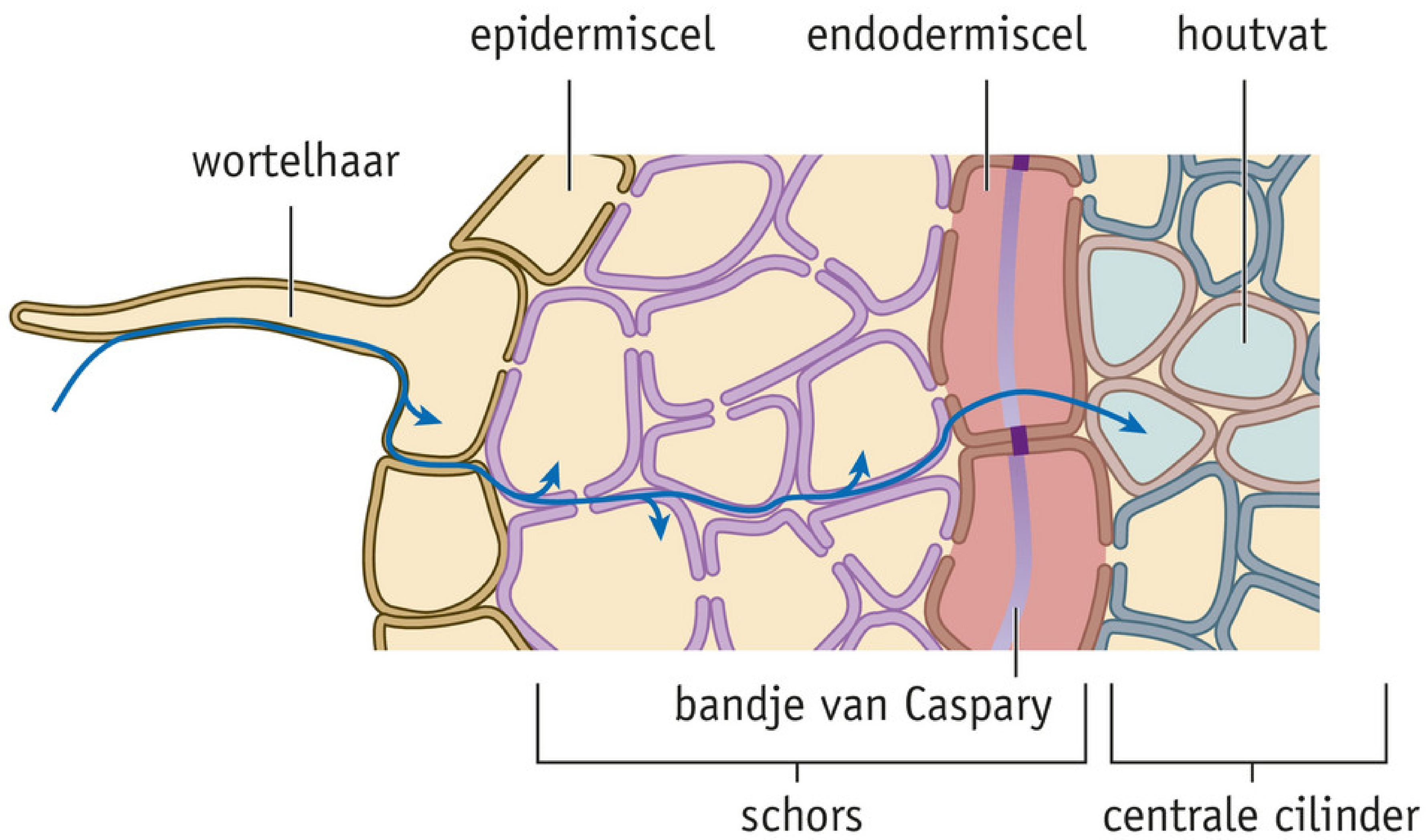
1 buitenaanzicht



2 doorsnede

De houtvaten en bastvaten liggen in de **centrale cilinder**. De buitenste laag cellen van de centrale cilinder heet de **endodermis**. Deze zorgt voor de selectieve opname van mineralen. Dat gaat als volgt (zie afbeelding 2).
Water met opgeloste mineralen wordt via de wortelharen opgenomen uit de bodem en diffundeert via de schors naar de endodermis. Dit gebeurt voornamelijk via de celwanden. Deze zijn doorlaatbaar voor water en mineralen. In de celwanden van endodermiscellen bevindt zich echter het bandje van Caspary, dat niet doorlaatbaar is voor water en mineralen. Dit bandje ligt in de zijkant, onderkant en bovenkant van de celwand (zoals het cement van een gemetselde muur). De enige manier om deze barrière tussen schors en centrale cilinder te passeren, is door de endodermiscellen. Het celmembraan van deze cellen transporteert actief mineralen van de wortelschors naar de centrale cilinder. Daardoor wordt de mineralenconcentratie in de centrale cilinder hoger dan die in de schors. Door osmose diffundeert vervolgens water naar de centrale cilinder. De hierdoor ontstane druk wordt **worteldruk** genoemd. Het water met de opgeloste mineralen stijgt daardoor in de houtvaten. De bandjes van Caspary verhinderen dat het water met opgeloste mineralen vanuit de centrale cilinder kan terugstromen naar de schors.

▶ **Afb. 2** Opname van water en zouten (schematisch).

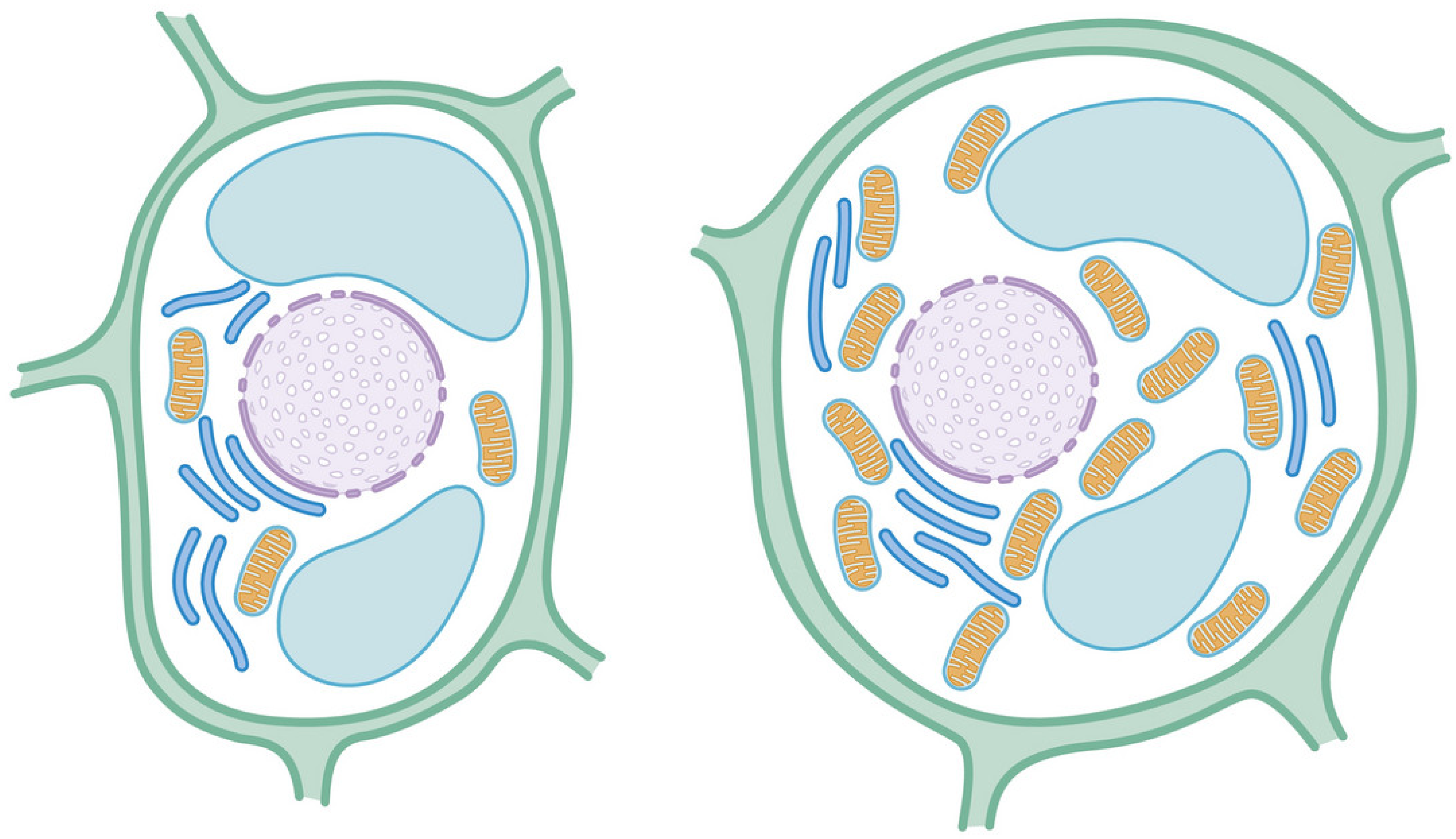


▶▶ PRACTICUMOPDRACHT 1

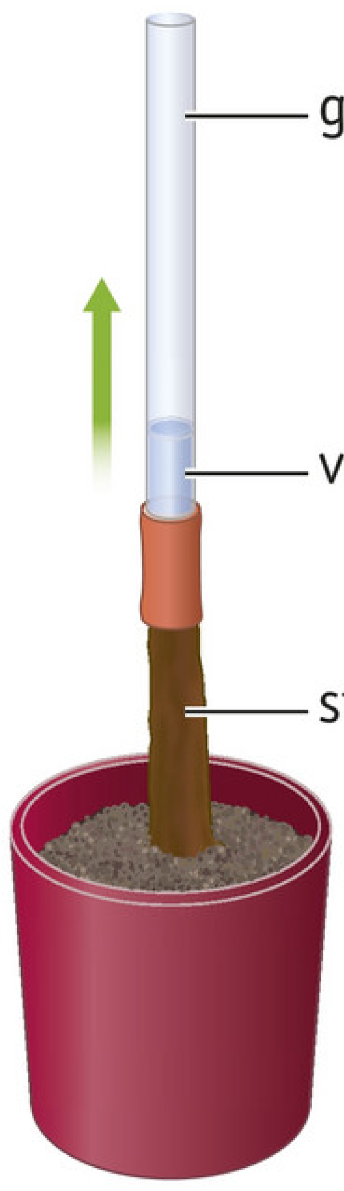
opdrachten

1 Afbeelding 3 is een schematische tekening van twee cellen van een wortel. Welke cel is een endodermiscel? Leg uit waaraan je dit kunt zien.

▶ **Afb. 3** Cellen in de wortel (schematisch).



▼ **Afb. 4** Proefopstelling.



2 In afbeelding 4 is een proefopstelling getekend waarmee worteldruk kan worden aangetoond. Het vocht in het glazen buisje stijgt.

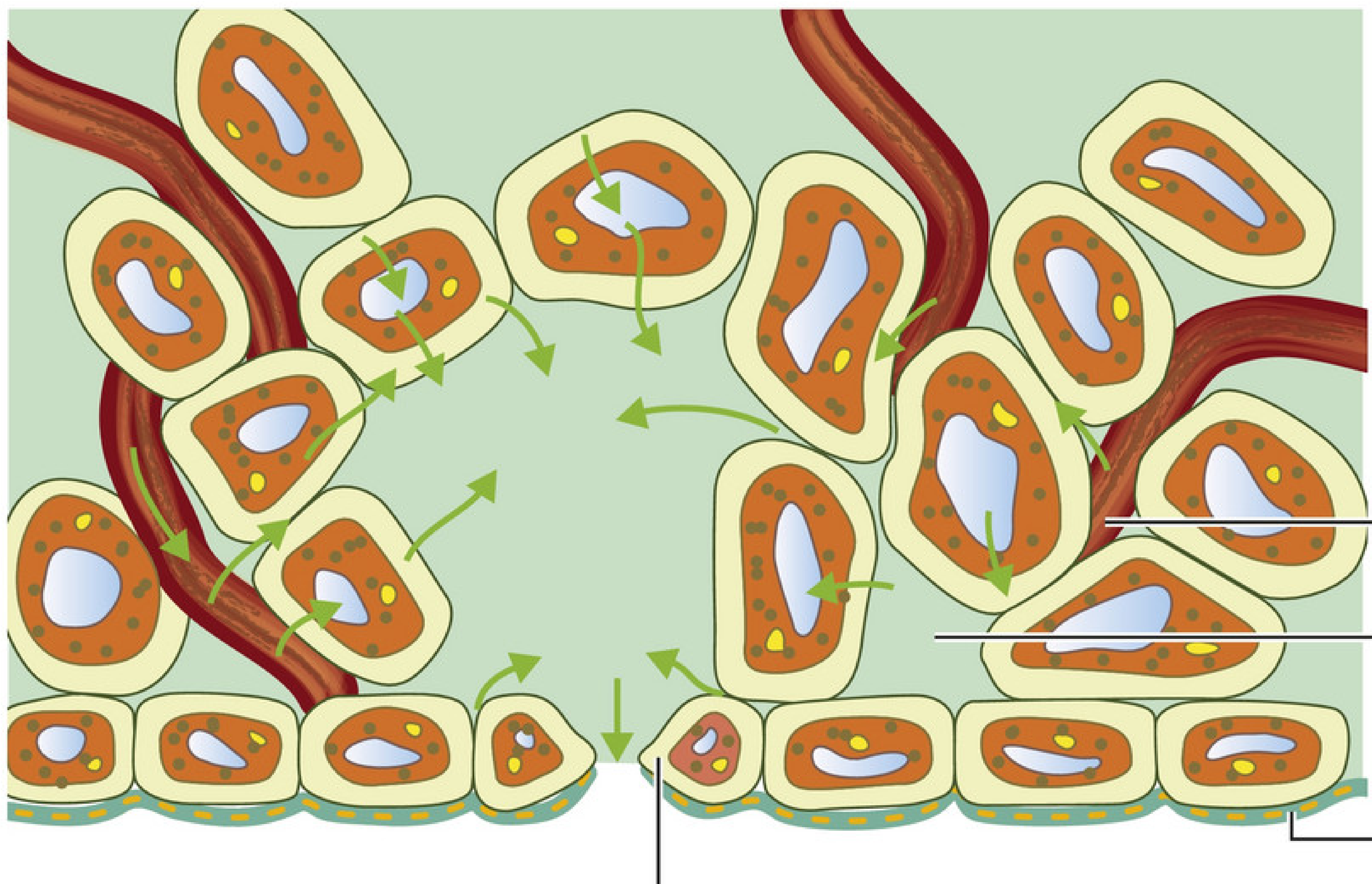
a Stel dat de aarde in de pot geen mineralen bevat. Zal dan hetzelfde resultaat optreden? Leg je antwoord uit.

b Stel dat de aarde in de proefopstelling doordrenkt is met water. Zal dan hetzelfde resultaat optreden? Leg je antwoord uit.

CAPILLAIRE WERKING EN VERDAMPING

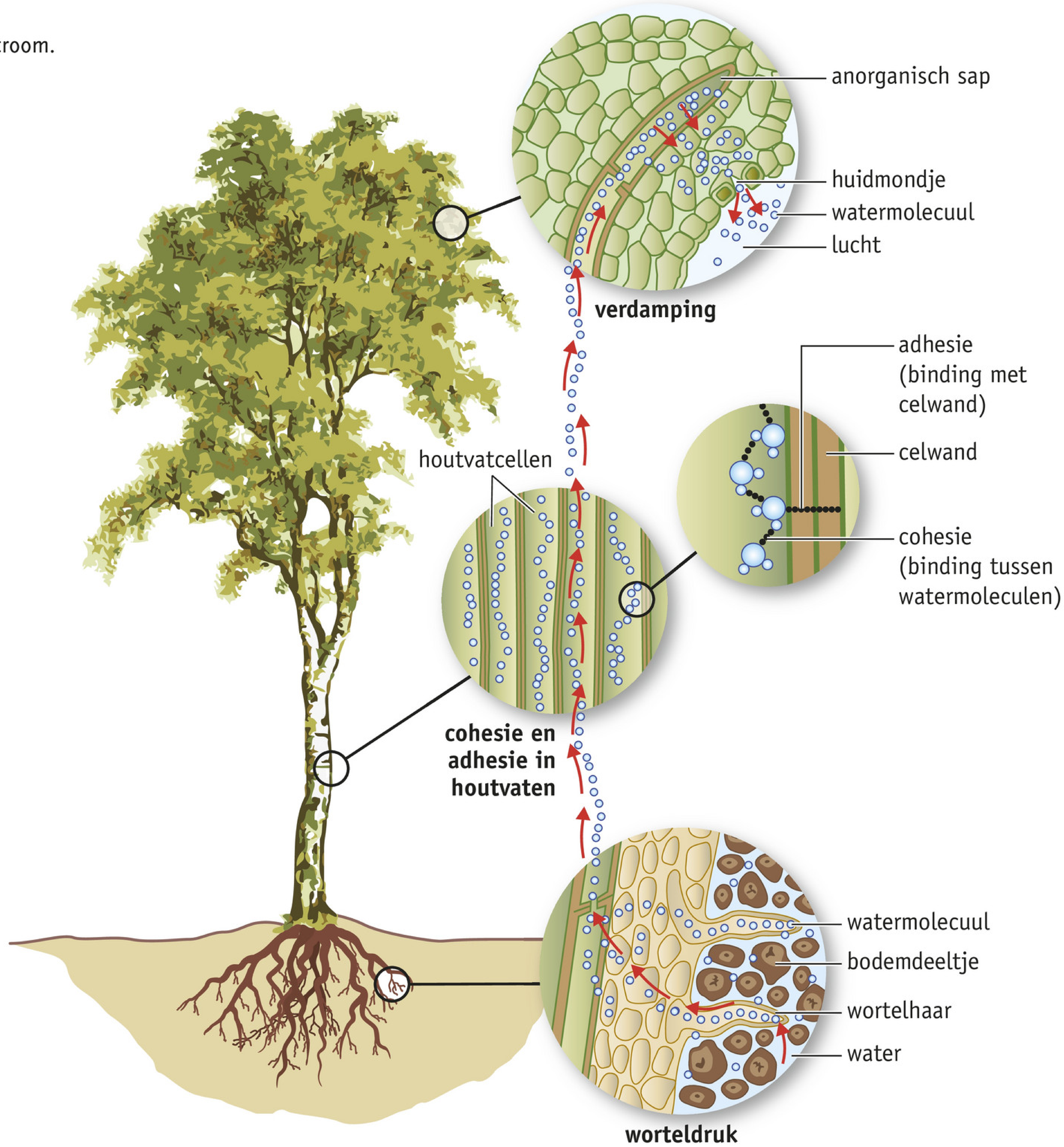
Water met opgeloste mineralen gaat van de houtvaten in de centrale cilinder en de stengel naar de nerven van bladeren. De houtvaten vertakken zich door het gehele blad, waardoor dicht bij elke cel een houtvat ligt.
Het transport in houtvaten is voornamelijk het gevolg van verdamping van water uit de bladeren en van capillaire werking. Bij **capillaire werking** stijgt een vloeistof in een smal buisje. De capillaire werking is mogelijk doordat de houtvaten nauw zijn. Watermoleculen trekken elkaar aan met **cohesiekrachten** en de watermoleculen ‘plakken’ aan de celwanden door **adhesiekrachten**. De cohesie- en adhesiekrachten zijn samen groter dan de zwaartekracht, waardoor het water omhoog wordt getransporteerd.
Water verdampt vanuit de luchtholten en celtussenruimten naar buiten via de **huidmondjes** (kleine openingen in de epidermis van blad of stengel). Daardoor zal uit de celwanden die grenzen aan de luchtholten, ook water verdampen (zie afbeelding 5). Dit water wordt vervolgens aangevuld vanuit de houtvaten in het blad en uiteindelijk vanuit de houtvaten in de stengel en wortels. Door de verdamping ontstaat boven in de houtvaten een onderdruk, waardoor water door de houtvaten wordt opgezogen. Je kunt dit vergelijken met het zuigen door een rietje.
Planten kunnen hun waterbehoefte regelen door de huidmondjes te openen of te sluiten. ’s Nachts zijn vrijwel alle huidmondjes gesloten. Bij droge omstandigheden kunnen de huidmondjes ook overdag worden gesloten.

▶ **Afb. 5** Verdamping uit een deel van een blad (schematisch).



Doordat de worteldruk de opwaartse sapstroom maar enkele meters kan laten stijgen, speelt deze bij naaldbomen en bij loofbomen in de zomer een kleine rol. Het opwaartse transport van water en mineralen komt dan vooral tot stand door verdamping van water door de bladeren. In het voorjaar speelt de worteldruk bij loofbomen een grotere rol. Er zijn dan nog geen bladeren die de opwaartse sapstroom in stand kunnen houden. Zie ook afbeelding 6.

▶ **Afb. 6** Anorganische sapstroom.



opdrachten

3 Bij de anorganische sapstroom spelen verschillende krachten een rol.

a Welke drie krachten zorgen er samen voor dat deze sapstroom vanuit de wortels tot in de bovenste bladeren kan komen?

b Welke twee van die krachten zijn doorgaans het grootst?

4 Een maïsplant wordt na ongeveer vier maanden geoogst. Gedurende deze maanden heeft de plant minstens 60 L water opgenomen. De maïsplant weegt echter veel minder dan 60 kg.

a Wat is er met het grootste deel van het water gebeurd?

b Geef twee processen waarvoor water is gebruikt in de plant.

c Bij maïs wordt 's nachts het watertransport voornamelijk veroorzaakt door worteldruk. Leg uit hoe dat komt.

5 Veel struiken mag je niet in het voorjaar snoeien, omdat ze dan 'doodbloeden'.

a Leg uit wat er dan gebeurt.

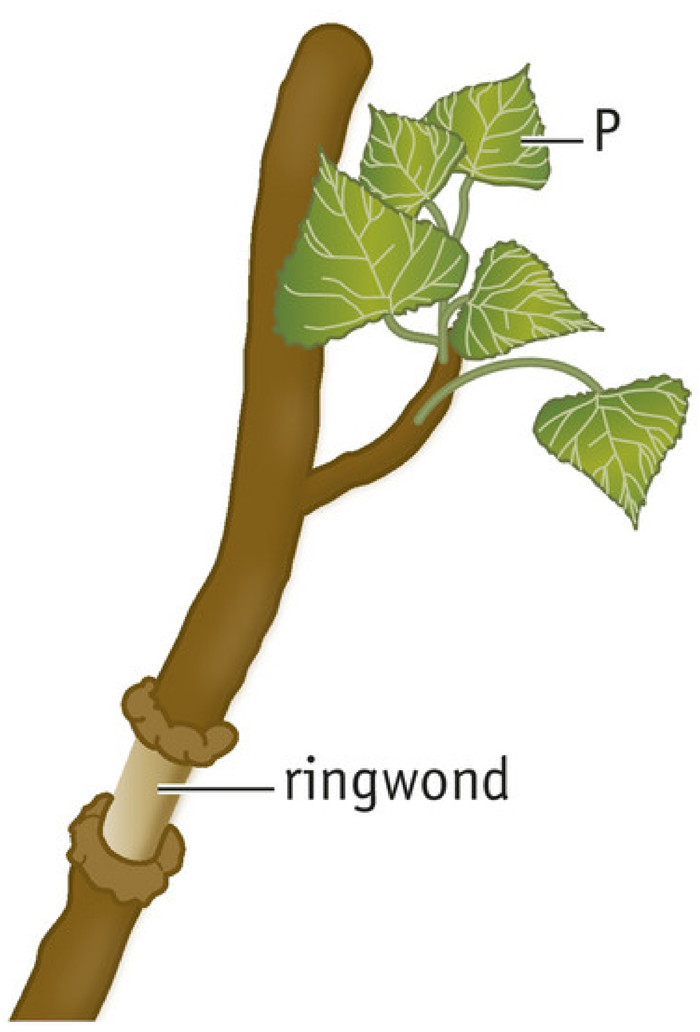
b Is de stijgende sapstroom een actief en/of een passief proces? Leg je antwoord uit.

c Watertransport in een plant is zowel een fysiologisch als een fysisch verschijnsel. Leg dit uit.

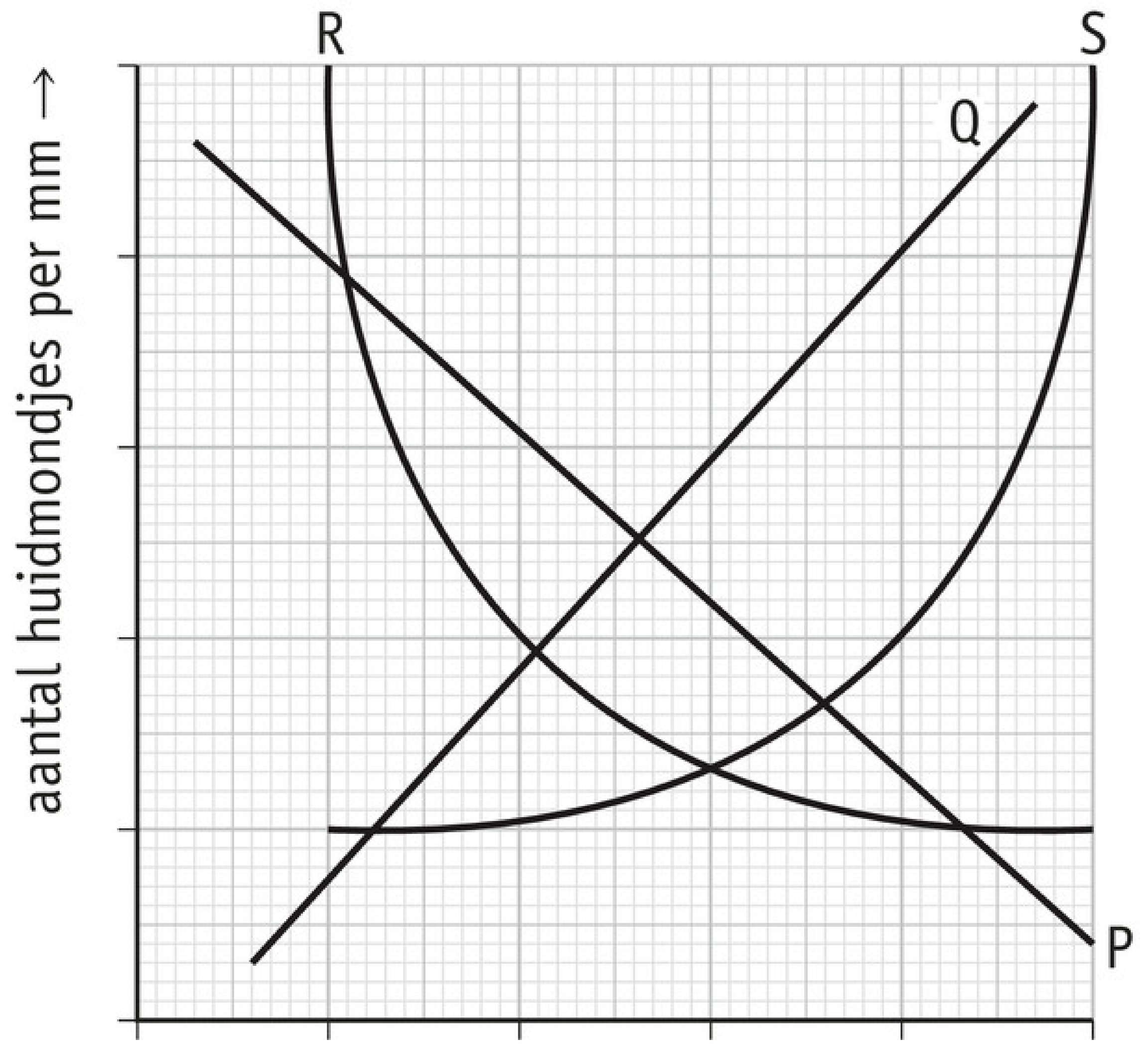
▼ **Afb. 7** Samenstelling van sap uit een bastvat (gemiddeld).

Stof	Concentratie (g/L)
Sacharose	93,0
Aminozuren	5,2
Mineralen	4,49
Eiwitten	1,8
ATP	0,3
Plantenhormoon	0,00002
Overig	5,20998
Totaal aan droge stof	110,0

▼ **Afb. 8** Ringwondproef.



▼ **Afb. 9** Verband tussen de CO_2-concentratie in de lucht en het aantal huidmondjes per vierkante millimeter.



ORGANISCHE SAPSTROOM

Bastvaten transporteren organische producten van de fotosynthese door de gehele plant. Sap in de bastvaten bevat voornamelijk suiker (de disacharide sacharose). De concentratie sacharose kan soms wel 30% zijn. Daarnaast bevat bastvatsap ook andere stoffen, zoals mineralen, aminozuren en hormonen.
In tegenstelling tot de eenrichtingsstroom van de houtvaten (van wortel naar blad), kan de sapstroom in de bastvaten in alle richtingen verlopen. De stroom gaat van een suikerbron naar plaatsen waar de suiker nodig is of waar deze wordt opgeslagen. Bladeren, maar ook stengels zijn voorbeelden van een suikerbron. Daar wordt suiker gemaakt door ofwel fotosynthese ofwel de afbraak van zetmeel. Suiker wordt via bastvaten vervoerd en opgeslagen in vruchten in de vorm van fructose en in groeipunten van wortels en stengels in de vorm van zetmeel. Als in het voorjaar de zetmeelvoorraad wordt afgebroken tot suiker, bijvoorbeeld in de wortels, is dat een suikerbron. Suiker wordt dan vanuit de wortels vervoerd naar groeiende delen, zoals knoppen.

opdrachten

6 Bij een onderzoek naar de samenstelling van bastvatsap wordt gebruikgemaakt van bladluizen. Bladluizen zuigen bastvatsap uit planten. Wanneer het lichaam van de bladluis wordt gescheiden van de zuigbuis (die in het blad achterblijft), wordt via de zuigbuis bastvatsap naar buiten geperst.

a Bladluizen zitten vooral aan de onderzijde van bladeren tegen de nerven en op stengels.
Leg uit waarom ze vooral op deze plaatsen zitten. Gebruik hiervoor je Binas.

b Bladluizen zuigen meer bastvatsap op dan ze nodig hebben voor hun suikervoorziening. Ze scheiden via de anale opening overtollig suikervocht uit. Dit verschijnsel hangt samen met hun eiwitvoorziening.
Leg dat uit met behulp van afbeelding 7.

7 De onderzoeker Marcello Malpighi voerde in de zeventiende eeuw een ringwondproef uit. Daarbij werd in de zomer een stuk bast rondom een takje van een boom weggesneden (zie afbeelding 8). Water en assimilatieproducten worden via de bastvaten afgevoerd. Bij de ringwond zijn de bastvaten weggesneden, waardoor zich aan de bovenkant van de ringwond water en assimilatieproducten ophopen en groei van hout- en bastweefsel wordt gestimuleerd. Als gevolg hiervan verdikt het weefsel boven de ring.

a Malpighi voerde de ringwondproef ook uit in de winter.
Leg uit of in de winter wel of niet een verdikking boven de ring plaatsvindt.

b Kunnen water en zouten uit de bodem blad P bereiken? Leg je antwoord uit.

c Fruittelers maken soms ringwonden onderaan in takken van fruitbomen. Ze krijgen daardoor grotere vruchten. Leg dat uit.

8 Friederike Wagner onderzoekt de relatie tussen het aantal huidmondjes in een blad en de CO_2-concentratie in de lucht. Het is bekend dat het aantal huidmondjes per oppervlakte-eenheid omgekeerd evenredig is met de CO_2-concentratie in de lucht.

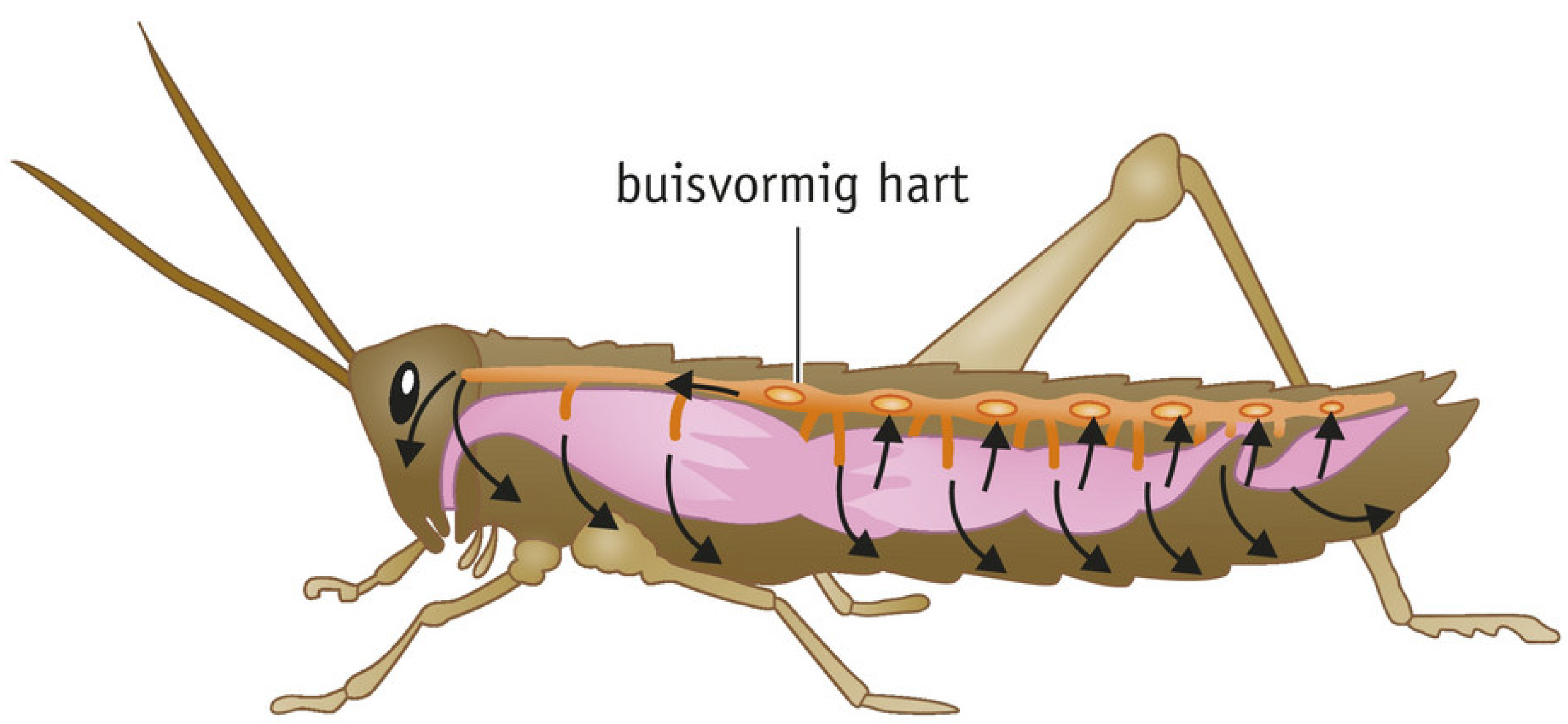
a Geef hiervoor een verklaring.

b In afbeelding 9 is het theoretische verband tussen de CO_2-concentratie in de lucht en het aantal huidmondjes per vierkante millimeter weergegeven.
Welke grafieklijn geeft dit verband correct weer?

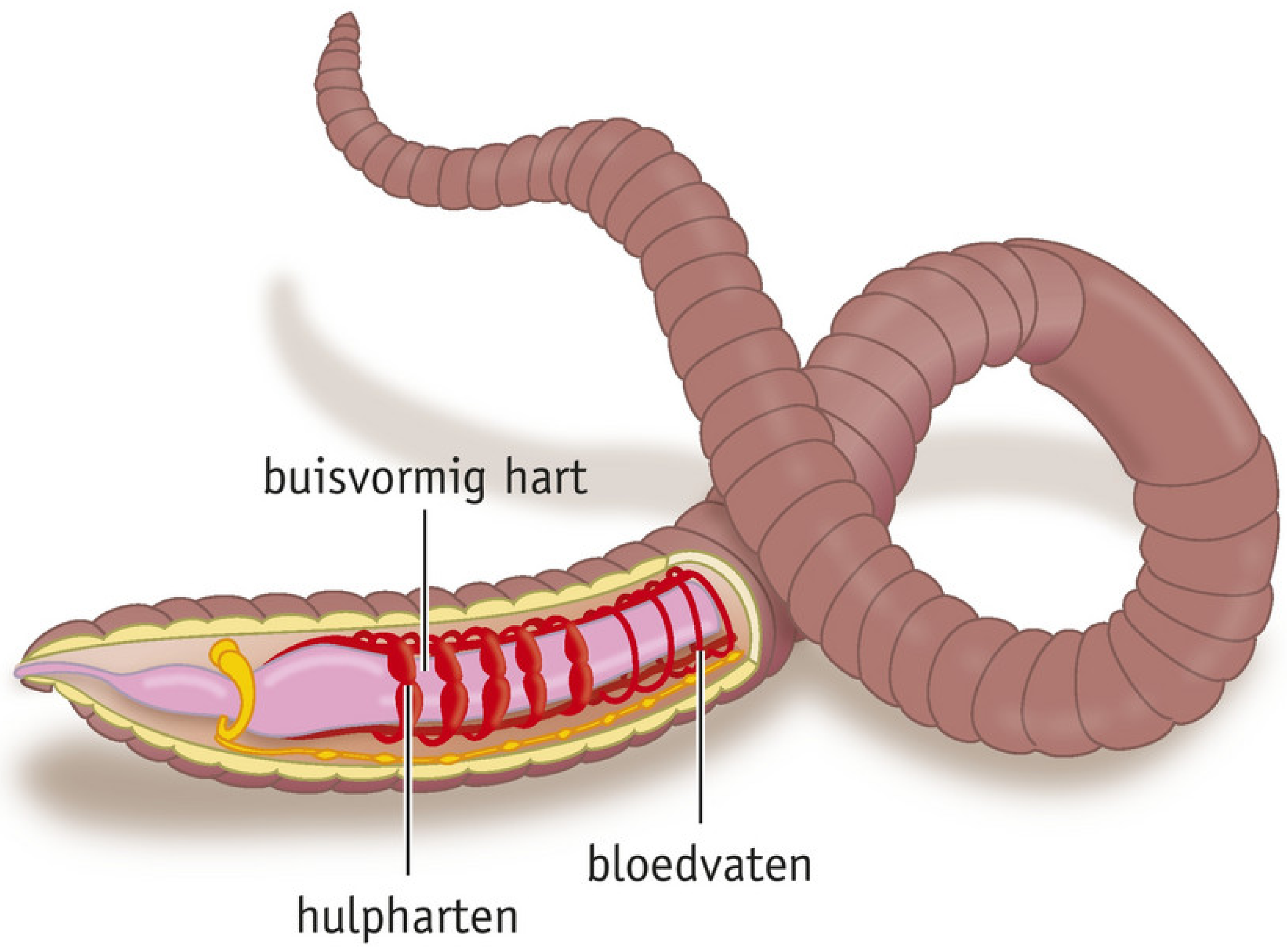
CIRCULATIESYSTEMEN BIJ DIEREN

Bij planten vindt transport plaats in twee richtingen. Bij dieren is het transport circulair: een vloeistof met daarin opgeloste stoffen stroomt rond. Geleedpotigen hebben een **open circulatiesysteem** en een buisvormig hart dat de lichaamsvloeistof rond de organen laat bewegen (zie afbeelding 10.1). Gewervelde dieren hebben een **bloedsomloop**. Dit is een gesloten systeem waarin het bloed is gescheiden van de andere lichaamsvloeistoffen. Transport van stoffen vindt plaats door bloedvaten. De kracht hiervoor wordt geleverd door een hart, dat het bloed door de bloedvaten pompt. In een gesloten systeem kan het transport van stoffen effectiever en over grotere afstanden plaatsvinden dan bij een open circulatiesysteem.
Sommige diersoorten hebben meerdere harten. Regenwormen bijvoorbeeld hebben een buisvormig hart met meerdere hulpharten (zie afbeelding 10.2).

▼ **Afb. 10** Transportsystemen bij dieren.



1 open: circulatiesysteem met buisvormig hart bij een sprinkhaan

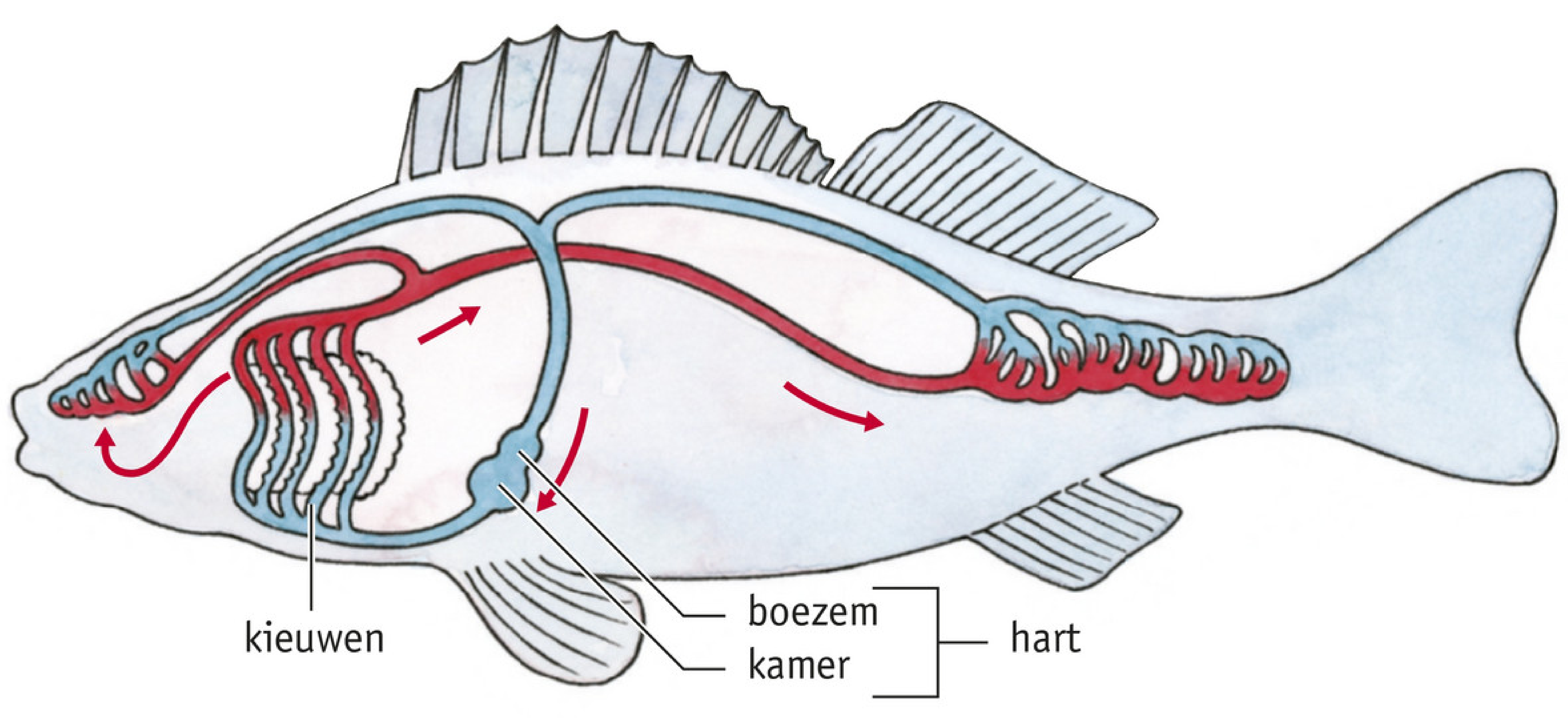


2 gesloten: bloedsomloop met hulpharten bij een regenworm

DE BLOEDSOMLOOP

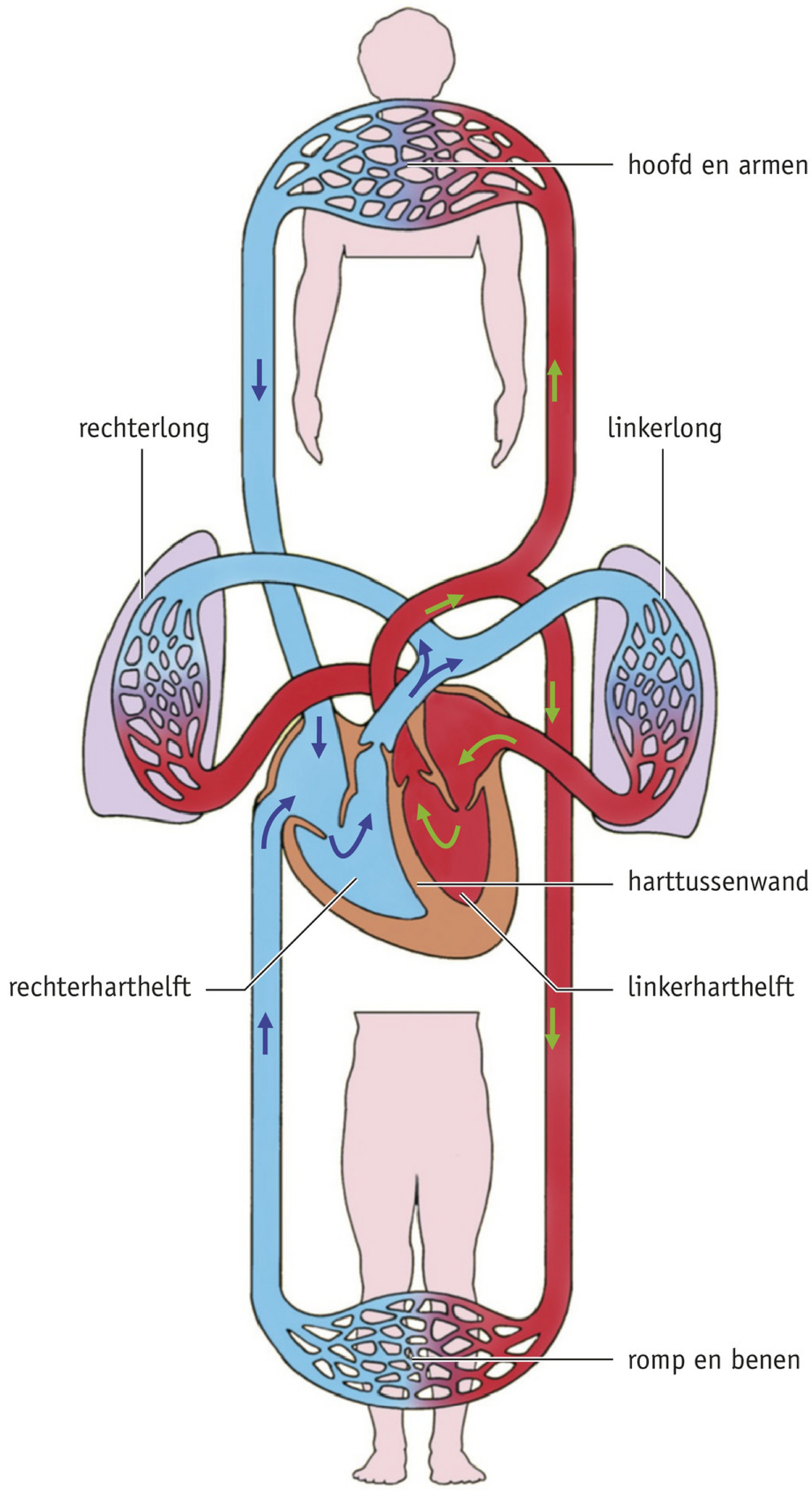
Bij vissen stroomt het bloed vanuit het hart eerst naar de kieuwen (zie afbeelding 11). Hierna stroomt het bloed naar de andere organen van het lichaam. Vissen hebben een **enkelvoudige bloedsomloop**: per omloop stroomt het bloed één keer door het hart. Het hart van een vis bestaat uit een boezem en een kamer. Het bloed dat van de organen naar het hart stroomt, verzamelt zich in de boezem. De boezem pompt het bloed naar de kamer. De kamer pompt het bloed naar de kieuwen.

▶ **Afb. 11** Enkelvoudige bloedsomloop bij een vis (schematisch).



In afbeelding 12 is de bloedsomloop van de mens schematisch getekend. Het roodgekleurde deel bevat zuurstofrijk bloed en het blauwgekleurde deel bevat zuurstofarm bloed. Je ziet dat het hart uit twee gescheiden helften bestaat: een **linkerharthelft** en een **rechterharthelft**. Let erop dat afbeeldingen van het bloedvatenstelsel of van het hart steeds in vooraanzicht zijn getekend (de linkerharthelft zie je dus rechts in de tekening).
De rechterhelft van het hart pompt het bloed naar beide longen. Vanuit de longen stroomt het bloed naar de linkerharthelft. Dit deel van de bloedsomloop heet de **kleine bloedsomloop**. Het bloed neemt daarbij zuurstof op en geeft koolstofdioxide af.

▶ **Afb. 12** Dubbele bloedsomloop van de mens (schematisch).



De linkerhelft van het hart pompt het bloed heel het lichaam door. Het bloed stroomt door alle organen. Vanuit deze organen stroomt het bloed weer terug naar de rechterharthelft. Dit deel van de bloedsomloop heet de **grote bloedsomloop**. In de grote bloedsomloop worden zuurstof en voedingsstoffen (zoals glucose) afgegeven aan de cellen, en koolstofdioxide en andere afvalstoffen uit de cellen opgenomen in het bloed.
Per omloop stroomt het bloed twee keer door het hart. De bloedsomloop bij de mens noemen we daarom een **dubbele bloedsomloop**. In vergelijking met een enkelvoudige bloedsomloop kan met een dubbele bloedsomloop een hogere druk worden bereikt.

Naast het transport van stoffen kan het bloed nog andere functies vervullen. Bloed verdeelt de warmte die vrijkomt bij dissimilatie over het hele lichaam. Door deze warmteverdeling en door de aan- en afvoer van stoffen zorgt de bloedsomloop voor een gelijkmatig en constant intern milieu (homeostase). Ook speelt het bloed een rol bij de afweer tegen ziekteverwekkers.

opdrachten

9 Gedurende de evolutie zijn verschillende circulatiesystemen ontstaan. Neem de tabel over en noteer in de eerste kolom in volgorde van toenemende effectiviteit van de bloedsomloop: *mens – regenworm – sprinkhaan – vis*. Vul daarna de rest van de tabel in.
Gebruik bij circulatiesysteem: *gesloten – open*.
Gebruik bij hart: *buisvormig – kamers en boezems*.

Organisme	Circulatie-systeem	Hart

10 Het hart van een vis heeft een boezem en een kamer.
a Bevat de hartkamer van een vis zuurstofrijk bloed of zuurstofarm bloed?
b Welke wand is bij een vissenhart het meest gespierd: de wand van de boezem of de wand van de kamer? Leg je antwoord uit.

11 Mensen en vissen hebben een gesloten bloedsomloop.
a Wat is daarvan het voordeel?
b Welk voordeel heeft een dubbele bloedsomloop boven een enkelvoudige bloedsomloop?
c Noteer twee verschillen tussen een sprinkhaan en een mens die een verschil in de bouw van de circulatiesystemen noodzakelijk maken.

CONTEXT Leefwereld

Bomenbloed

▼ Afb. 13 Bloedende boomwond.



Esdoornsiroop is een natuurproduct dat wordt gewonnen door het sap van de Canadese suikeresdoorn (Engels: maple) af te tappen en in te dampen. De siroop is lekker op pannenkoeken en poffertjes. In Nederland kan op dezelfde manier berkensiroop worden gemaakt. Als je aan het einde van de winter een gaatje van ongeveer 6 cm diep in een dikke berkenstam boort, druppelt het sap er vanzelf uit. Zodra er bladeren aan de boom zitten, stopt het bloeden en is het afgelopen met het tappen van 'bomenbloed' (zie afbeelding 13).
Bij snoeien vlak voordat de knoppen uitlopen, gaan esdoorns en berken op de snoeiwond gemakkelijk bloeden. In de centrale cilinder van de wortel komen in het voorjaar suikers vrij. Die verhogen de worteldruk zodanig dat het voedselrijke sap naar de knoppen of door een wond naar buiten wordt geperst. Zo'n wond hoef je niet te verbinden. Het bloeden stopt vanzelf en het bomenbloed reinigt en bedekt de wond, zodat ziekteverwekkers minder kans hebben.

opdrachten

12 Esdoornsiroop wordt verkocht onder de naam ahornsiroop of maple sirup.
- **a** Welke twee groepen voedingsstoffen bevat dit geconcentreerde plantensap?
- **b** Na indampen is de siroop ongeveer veertig keer zo geconcentreerd als het verse sap.
 Waarvoor is het nodig het plantensap te concentreren?
- **c** Bij de meeste zaadplanten is de opwaartse sapstroom hetzelfde als de anorganische sapstroom. Dat geldt niet voor suikeresdoorns en berken in het voorjaar. Leg dat uit.

13 Suikermoleculen en mineralen verhogen de osmotische waarde in de centrale cilinder.
- **a** Welke twee processen zorgen ervoor dat suikers en mineralen in de centrale cilinder komen?
- **b** Suikeresdoorns en berken bloeien meteen met het uitkomen van het blad in het voorjaar.
 Verklaar het belang van de suikerrijke opwaartse sapstroom bij deze bomen.
- **c** Verklaar dat de bomen minder goed groeien als gevolg van bloeden en de winning van sap.
- **d** In welke periode van het jaar kunnen esdoorns en berken worden gesnoeid zonder dat de wonden gaan bloeden?

14 Behalve esdoorn- en berkensiroop kun je ook appelstroop of honing op je pannenkoek doen.
Zoek informatie over de productiewijze van deze vier smaakmakers.

Leerdoelen

- Je kunt de delen van een hart noemen met hun functies en kenmerken.
- Je kunt de werking van het hart beschrijven.

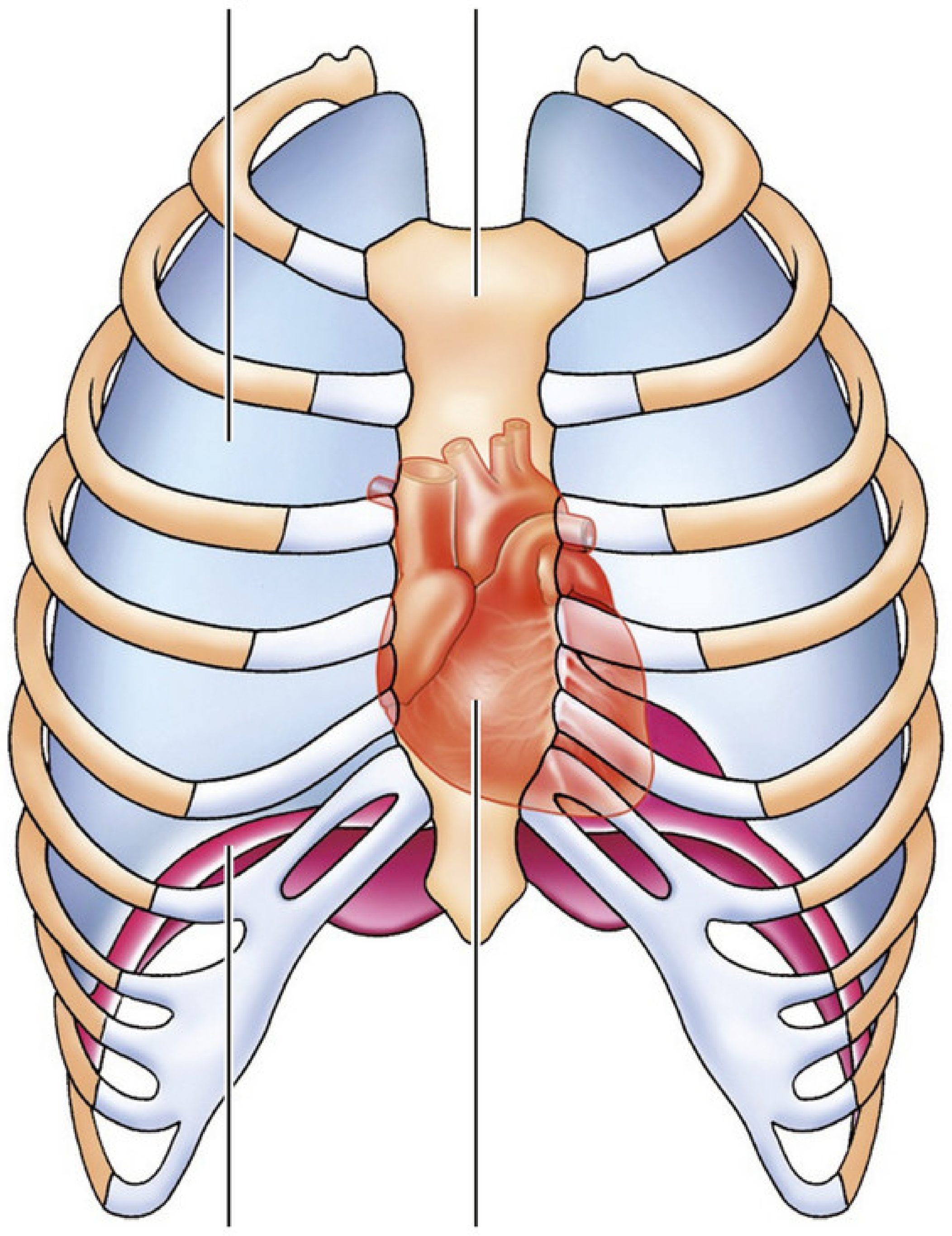
2 Het hart

De cellen van je lichaam hebben voortdurend zuurstof nodig. Je hart zorgt ervoor dat het bloed door je lichaam stroomt en stoffen transporteert. Al in een embryo van drie weken oud begint het hart te kloppen.

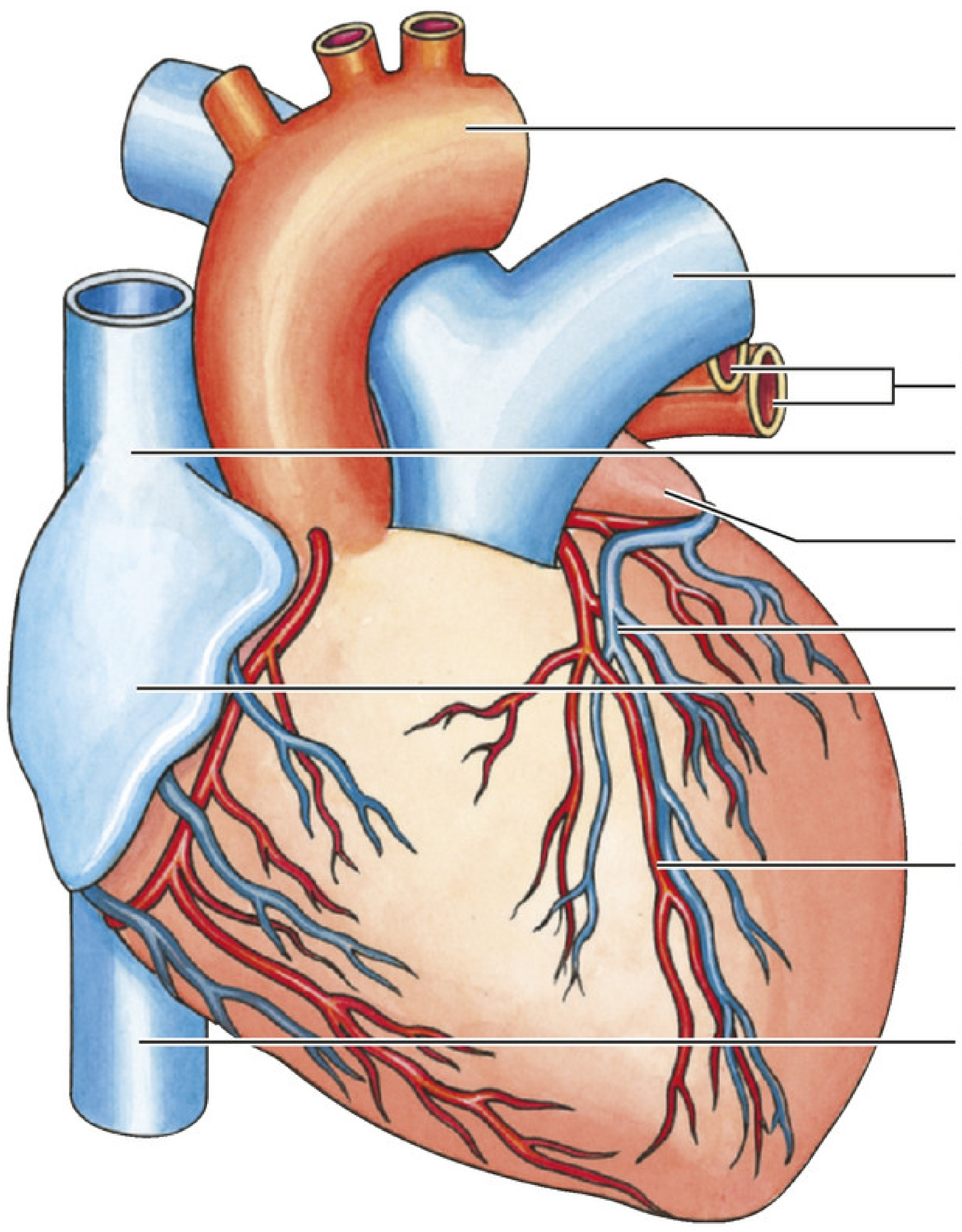
DE BOUW VAN HET HART

In de borstkas, iets naar links onder het borstbeen, ligt het hart (zie afbeelding 14). Het hart is een dubbele pomp, ongeveer zo groot als een vuist. Afbeelding 15 is een schematische tekening van het hart. Het hart is een holle spier die energie verbruikt. Over het hart lopen bloedvaten: de kransslagaders en de kransaders. De **kransslagaders** (aftakkingen van de aorta) voorzien het hartspierweefsel van zuurstof en voedingsstoffen. Koolstofdioxide en andere afvalstoffen worden afgevoerd via de **kransaders**. De kransaders monden rechtstreeks uit in de rechterboezem.

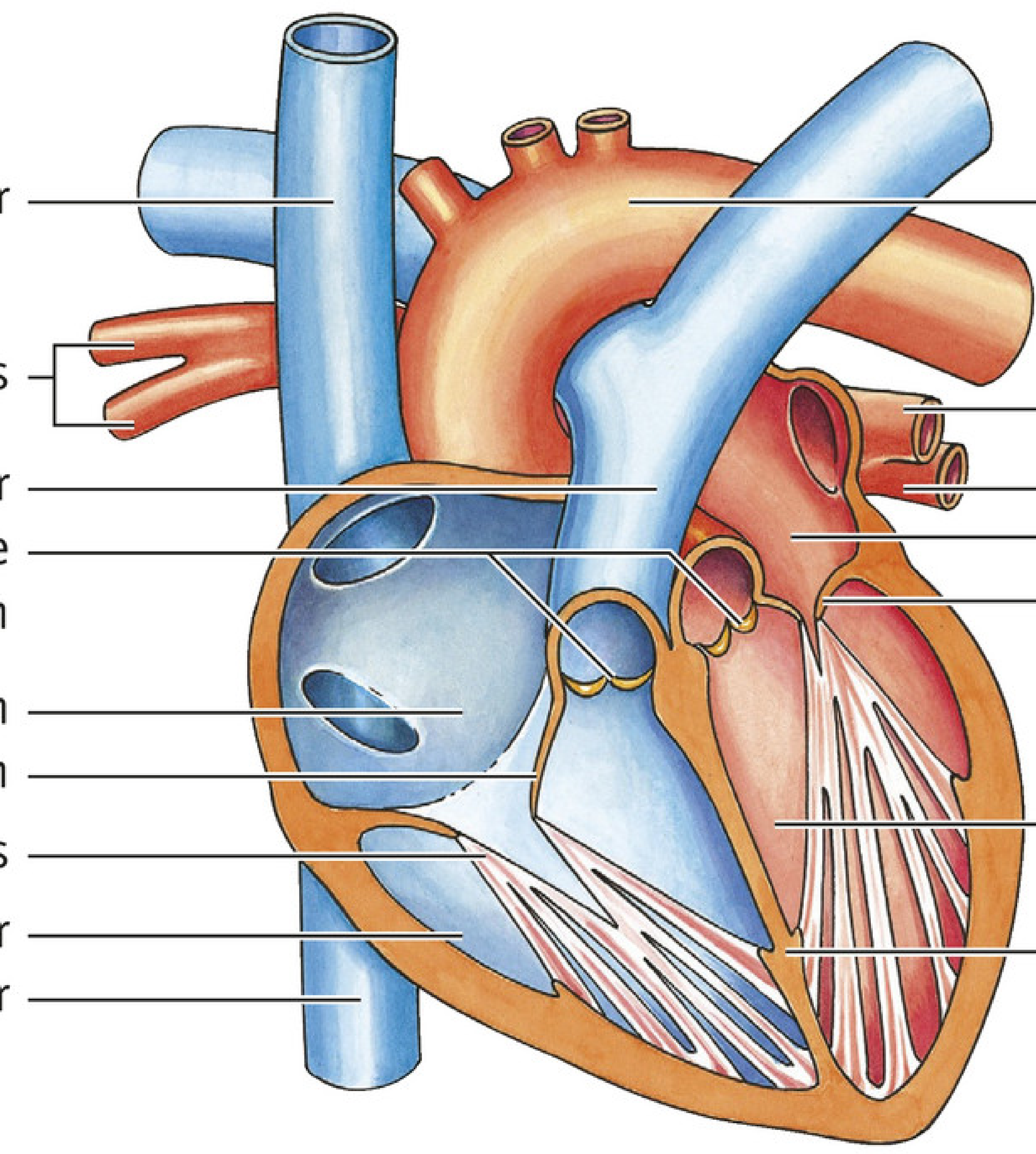
▼ **Afb. 14** De ligging van het hart (schematisch).



▼ **Afb. 15** Het hart (schematisch).



1 vooraanzicht

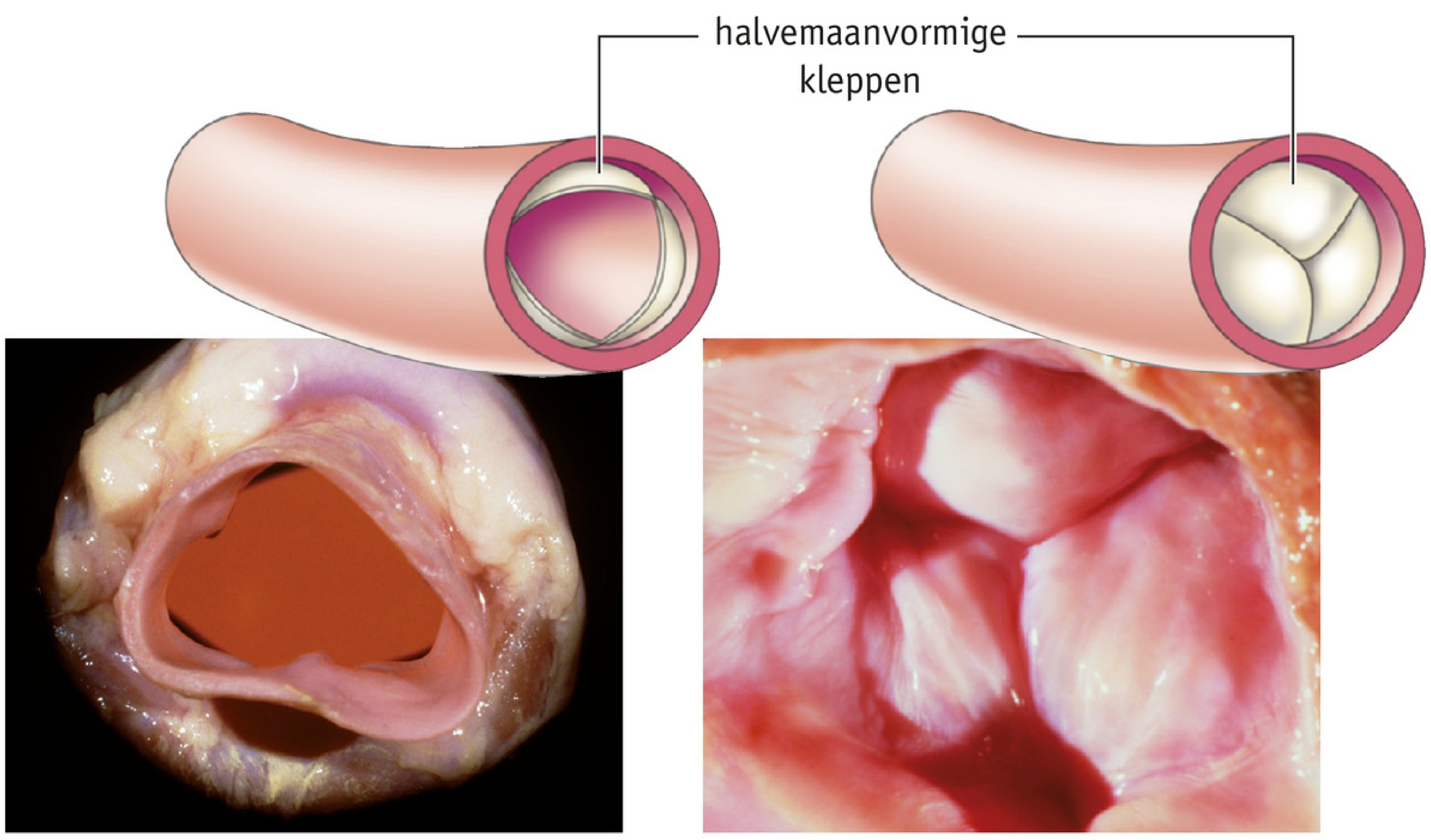


2 lengtedoorsnede

De linkerharthelft en de rechterharthelft zijn gescheiden door een **harttussenwand** (zie afbeelding 15.2). Elke harthelft bestaat uit een **boezem** en een **kamer**. De boezems zitten als een soort 'zakjes' op de kamers. Het bloed uit het lichaam komt het hart binnen via de onderste en bovenste holle ader, die uitmonden in de **rechterboezem**. Van de rechterboezem stroomt het bloed naar de **rechterkamer**. Deze pompt het bloed in de **longslagader** die zich vertakt naar beide longen. Het bloed uit de longen stroomt via de longaders terug naar het hart en komt in de **linkerboezem** terecht. Van de linkerboezem stroomt het bloed naar de **linkerkamer**. De linkerkamer pompt het bloed in de **aorta** (grote lichaamsslagader). Door slagaders die van de aorta aftakken, stroomt het bloed naar de organen van het lichaam. Boezems en kamers zijn van elkaar gescheiden door **hartkleppen**. Aan het begin van de longslagader en de aorta bevinden zich **halvemaanvormige kleppen** (zie afbeelding 16).

PRACTICUMOPDRACHT 2

Afb. 16 Halvemaanvormige kleppen in de aorta (foto en schematische tekening).

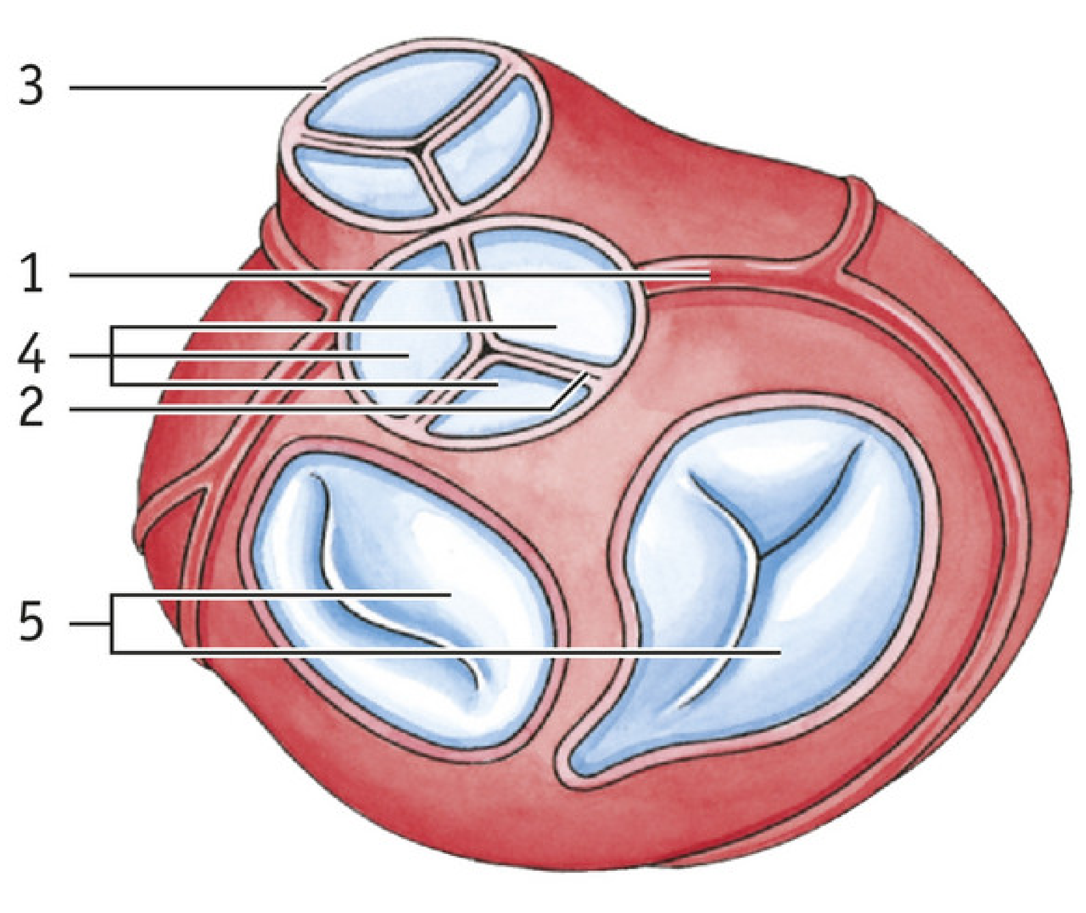


1 halvemaanvormige kleppen open

2 halvemaanvormige kleppen gesloten

opdrachten

Afb. 17 Deel van het hart (schematische dwarsdoorsnede).



15 Afbeelding 17 is een schematische tekening van een deel van het hart. De beide boezems en de aansluitende bloedvaten zijn weggelaten. De nummers 2 en 3 geven wanden van bloedvaten aan.

a Noteer de namen van de genummerde delen.

b Een bloedcel gaat van de bovenste holle ader naar de aorta. Door welke delen van het hart komt deze bloedcel achtereenvolgens?

16 Het hartspierweefsel van een mens produceert veel koolstofdioxide.

a In welk deel van het hart komt dit koolstofdioxide het eerst terecht?

b Bij het roken van een sigaret wordt in de longen nicotine opgenomen in het bloed. In welk deel van het hart komt deze nicotine het eerst terecht?

17 Het hart heeft een linker- en een rechterkamer.

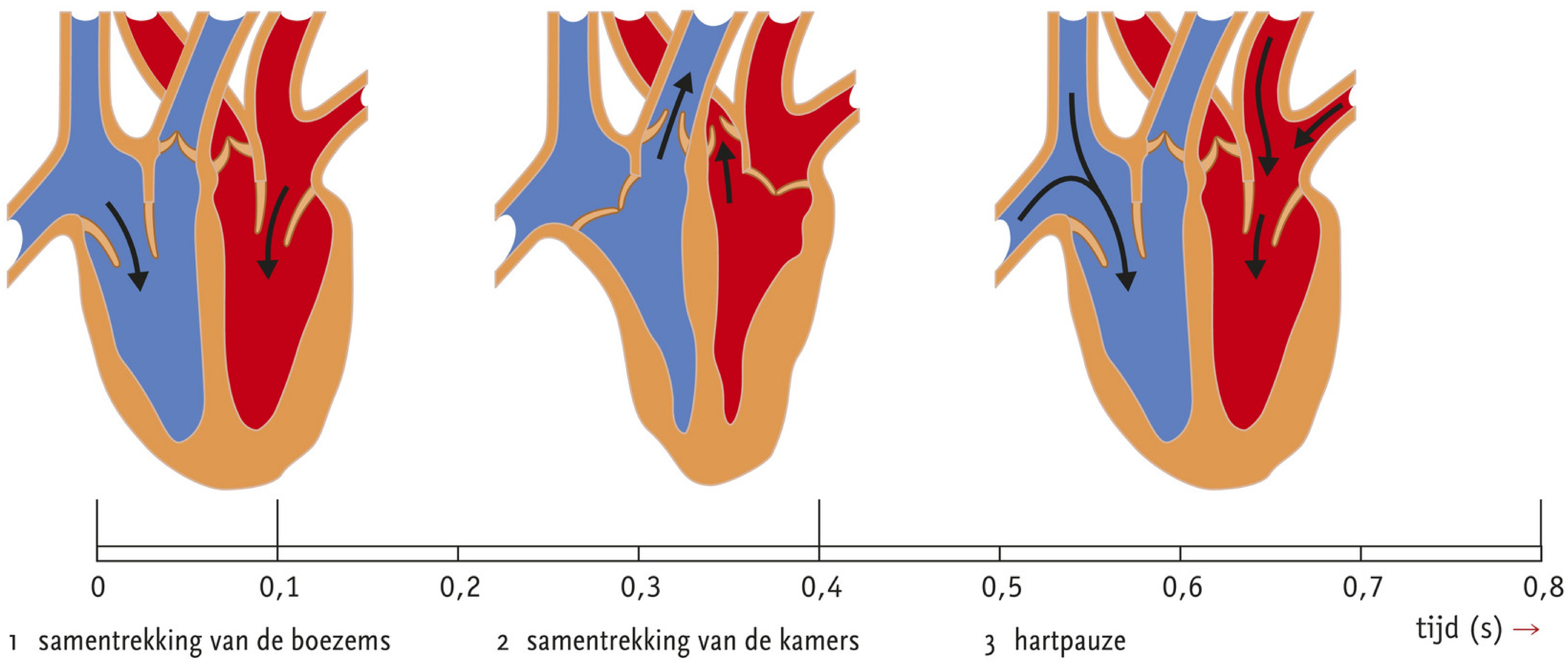
a Welke kamer heeft de meest gespierde wand? Leg je antwoord uit.

b Doordat het hart het bloed met kracht wegpompt, ontstaat de bloeddruk. Is de bloeddruk aan het begin van de aorta lager dan, gelijk aan of hoger dan de bloeddruk aan het begin van de longslagader? Leg je antwoord uit.

DE WERKING VAN HET HART

Bij de werking van het hart zijn drie fasen te onderscheiden die elkaar steeds opvolgen (zie afbeelding 18). De hartslag begint als de boezems zijn volgestroomd met bloed uit de holle aders en de longaders. Beide boezems trekken gelijktijdig samen. Het bloed stroomt hierdoor de kamers in. De kamers zijn op dat moment ontspannen.
Als de kamers zijn volgestroomd, trekken deze samen. De druk in de kamers stijgt. Daardoor slaan de hartkleppen dicht en verhinderen dat het bloed terugstroomt in de boezems. De hartkleppen zijn door pezen verbonden met spieren in de hartwand. Deze spieren zorgen ervoor dat de pezen strak gespannen staan bij het samentrekken van de kamers. Hiermee wordt voorkomen dat de hartkleppen ‘doorslaan’ naar de boezems. Tijdens het samentrekken van de kamers ontspannen de boezems. Het samentrekken van hartspierweefsel heet systole, de ontspanning heet diastole.

▼ **Afb. 18** De werking van het hart (schematisch).



Als de druk in de kamers hoger is geworden dan de druk in de aorta en in de longslagader(s), worden de halvemaanvormige kleppen opengedrukt. Het bloed wordt tegelijkertijd in de aorta en in de longslagader(s) gepompt. Hierna volgt de **hartpauze**, waarbij zowel de boezems als de kamers ontspannen zijn. De halvemaanvormige kleppen zijn nu gesloten en verhinderen dat het bloed terugstroomt naar de kamers vanuit de longslagader en de aorta. Het bloed stroomt uit de holle aders en de longaders in de boezems en gedeeltelijk door naar de kamers. In afbeelding 18 is voor elke fase de stand van de hartkleppen en van de halvemaanvormige kleppen aangegeven.

Met een stethoscoop zijn bij elke hartslag twee **harttonen** te horen. Als de samentrekking van de kamers begint, slaan de hartkleppen dicht. Hierdoor is een doffe harttoon te horen. Als na het eind van de samentrekking de halvemaanvormige kleppen dichtslaan, is een heldere harttoon te horen. Een arts kan aan de harttonen horen of de kleppen goed functioneren. Als er **hartruis** te horen is, sluiten de kleppen niet goed.

▸▸ PRACTICUMOPDRACHT 3

opdrachten

18 Neem de tabel over en vul hem in. Gebruik daarbij: *dicht – hartkamers – open – slagaders*.

	Samentrekken van de boezems	Samentrekken van de kamers	Hartpauze
1 In welke richting stroomt het bloed?			
2 Hoe is de stand van de hartkleppen?			
3 Hoe is de stand van de halvemaanvormige kleppen?			

19 a Wat is de functie van de hartkleppen? En wat is de functie van de halvemaanvormige kleppen?
b In afbeelding 18 is een tijdbalk weergegeven.
Op welk tijdstip op deze tijdbalk is het volume van de hartkamers het grootst? En op welk tijdstip het kleinst?
c Op welk tijdstip op deze tijdbalk slaan de hartkleppen dicht?
d En op welk tijdstip slaan de halvemaanvormige kleppen dicht?
e Tijdens het samentrekken van de kamers gaan de hartkleppen dicht en de halvemaanvormige kleppen open.
Welke gebeurtenis vindt het eerst plaats? Leg je antwoord uit.

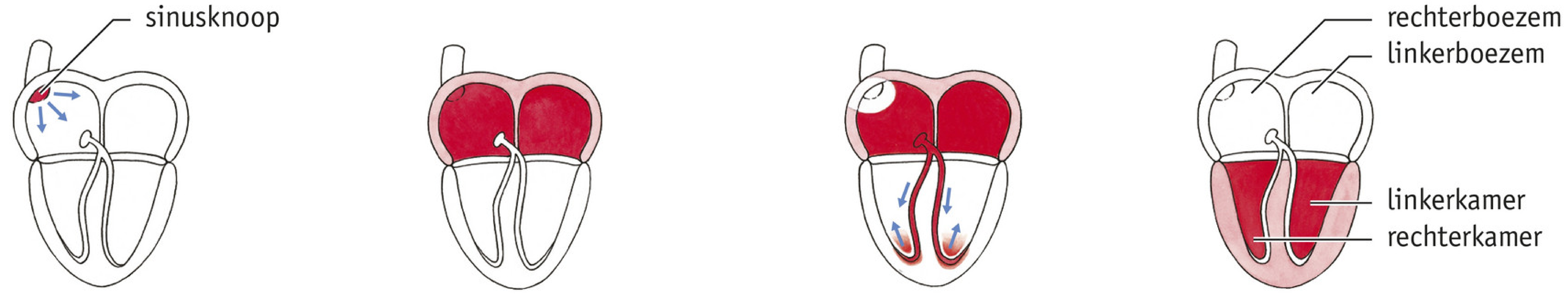
20 Met een stethoscoop kun je de hartslag beluisteren.
a Hoe komt het dat je met een stethoscoop bij elke hartslag twee harttonen kunt horen?
b Wat is er aan de hand als een arts met een stethoscoop hartruis hoort?
c Welke gevolgen heeft dit voor de bloedstroom in het hart?

21 Bij een medische keuring van een voetballer werd een hartkwaal geconstateerd. Een klep bij de aorta sloot, als gevolg van een aangeboren defect, onvolledig af. Hierdoor raakte de linkerkamer van het hart te vol. Leg dat uit.

DE HARTSLAGFREQUENTIE

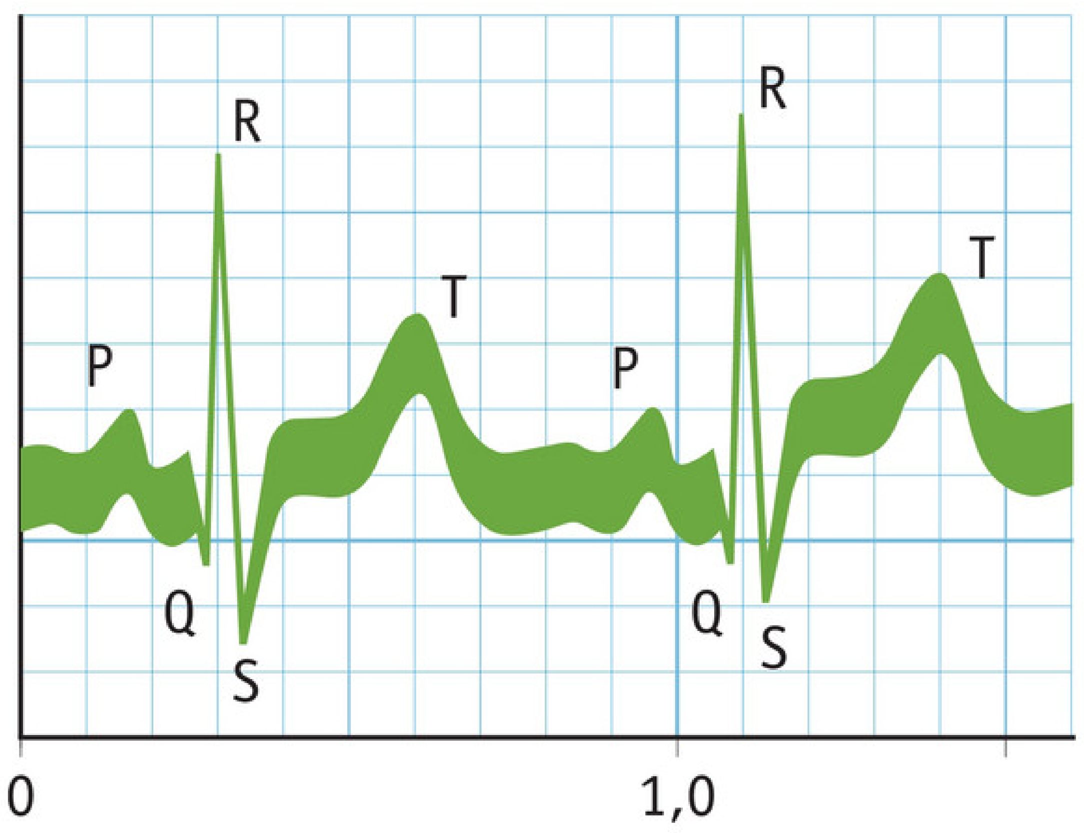
De samentrekking van het hartspierweefsel wordt veroorzaakt door impulsen. Deze impulsen ontstaan in een groep gespecialiseerde cellen in de wand van de rechterboezem: de **sinusknoop**. Vanuit de sinusknoop worden de impulsen eerst naar het spierweefsel in de wand van beide boezems geleid. Hierdoor wordt de samentrekking van de boezems veroorzaakt. Even later komen de impulsen in de wand van de kamers aan. Direct nadat de samentrekking van de boezems is voltooid, begint de samentrekking van de kamers. Hierna treedt de herstelfase op, waarna de sinusknoop opnieuw een impuls kan afgeven.
In afbeelding 19 is de impulsgeleiding in het hart schematisch getekend.

▼ **Afb. 19** De impulsgeleiding in het hart (schematisch).



1 ontstaan van impulsen in de sinusknoop
2 geleiding van impulsen in de wand van de boezem: samentrekking van de boezems
3 geleiding van impulsen vanuit de boezems naar de kamers
4 geleiding van impulsen in de wand van de kamers: samentrekking van de kamers

▼ **Afb. 20** Een elektrocardiogram (ecg).



De impulsgeleiding in het hart kan worden gemeten en weergegeven in een **elektrocardiogram** (**ecg**), zie afbeelding 20.
Bij hartritmestoornissen kunnen de boezems of de kamers te snel, te langzaam of onregelmatig samentrekken. De oorzaak ligt in de vorming of de geleiding van impulsen. Als er vaker ernstige hartritmestoornissen optreden en er risico bestaat voor een hartstilstand, kan het hartritme worden ondersteund met behulp van een pacemaker. Deze herstelt het normale hartritme met elektrische impulsen.

De snelheid waarmee de sinusknoop impulsen afgeeft, noem je de **hartslagfrequentie** (of hartritme). De hartslagfrequentie hangt samen met de lichaamsactiviteit. Bij toenemende activiteit stijgt het hartritme. Dat is nodig om de bloeddruk op peil te houden. De bloeddruk wordt geregeld door negatieve terugkoppeling (zie afbeelding 21).

▶ **Afb. 21** Regeling van het hartritme en de bloeddruk door negatieve terugkoppeling.



In de wand van de halsslagaders en de aorta liggen zintuigcellen die de bloeddruk waarnemen en doorgeven aan de hersenstam. Als de bloeddruk daalt onder een bepaalde waarde (de normwaarde), zorgt de hersenstam voor een stijging van het hartritme. Hierdoor stijgt de bloeddruk. Is de bloeddruk gestegen tot boven de normwaarde, dan daalt het hartritme weer.
De hersenstam kan ook worden beïnvloed door emoties en zintuiglijke waarnemingen (via de grote hersenen). Bijvoorbeeld als je gespannen of kwaad bent, of als je iets ziet waarvan je schrikt. Het bijniermerg geeft dan veel van het hormoon adrenaline af aan het bloed. Adrenaline en de hersenstam zorgen dan voor een verhoging van het hartritme.

De hartslagfrequentie is ook afhankelijk van de lichaamsgrootte. Bij pasgeboren baby's slaat het hart gemiddeld 130 keer per minuut, bij volwassenen in rust gemiddeld 70 keer per minuut. Bij volwassenen wordt per hartslag in rust 70 tot 100 mL bloed in de aorta gepompt. Deze hoeveelheid bloed noem je het **slagvolume**. Het slagvolume is onder andere afhankelijk van de hoeveelheid bloed die vanuit de holle aders de rechterboezem instroomt.

opdrachten

22 Letter P, R en T in het ecg van afbeelding 20 geven de drie fasen aan in een hartslag. T geeft de herstelfase (hartpauze) aan.
- **a** Welke samentrekkingen horen bij letter P en R?
- **b** Bereken de hartslagfrequentie van deze persoon.

23 Bij experimenten wordt soms een kloppend hart buiten het lichaam in een vloeistof gebracht.
Leg uit hoe het komt dat zo'n hart kan blijven kloppen.

24 a Is het slagvolume van de linkerkamer kleiner dan, ongeveer gelijk aan of groter dan de hoeveelheid bloed die de rechterkamer per hartslag wegpompt?

b Als maat voor de hoeveelheid arbeid die een hart verricht, wordt meestal het minutenvolume gebruikt. Dit is de hoeveelheid bloed die per minuut door de linkerkamer in de aorta wordt geperst.
Bereken het gemiddelde minutenvolume van een volwassen persoon in rust.

c Bij sportmensen blijkt soms het hartritme bij toenemende inspanning gedurende een trainingsperiode weinig of niet te stijgen.
Door welke verandering in de hartwerking wordt dan toch het minutenvolume vergroot?

25 Lees het onderzoek naar risico op hart- en vaatziekten van afbeelding 22.

a Welke leefgewoonten kunnen het cholesterolgehalte van het bloed en de bloeddruk verhogen?

b Waarvoor is het belangrijk dat dit soort onderzoek met grote groepen deelnemers gebeurt?

c Op welke waarde is het risico van mannen en vrouwen in de hoogrisicogroep gesteld?

d Geef op basis van de tabel in eigen woorden een samenvatting van het resultaat.

e Beschrijf een werkplan voor dit bevolkingsonderzoek.

▼ **Afb. 22**

ONDERZOEK	**RISICOFACTOREN VOOR HART- EN VAATZIEKTEN**
Inleiding	In een grootschalig, langdurig bevolkingsonderzoek werd de invloed onderzocht van de risicofactoren: cholesterolgehalte van het bloed, bloeddruk en roken op de sterfte aan hart- en vaatziekten.
Onderzoeksvraag	Wat is de invloed van risicofactoren op het aantal sterfgevallen als gevolg van hart- en vaatziekten bij mannen en vrouwen?
Hypothese	Mannen en vrouwen met lage waarden voor de risicofactoren hebben een kleinere kans om aan hart- en vaatziekten te overlijden.
Experiment	
Resultaat	Relatief risico voor mannen en vrouwen in de laagrisicogroep om te overlijden aan hart- en vaatziekten ten opzichte van mannen en vrouwen in de groep met een te hoge waarde voor een van de drie risicofactoren.
Conclusie	Mannen en vrouwen met lage waarden voor de risicofactoren hebben op lange termijn een veel kleinere kans om te overlijden aan hart- en vaatziekten. Een groter aandeel van de groep met lage risicofactoren in de bevolking kan dus bijdragen aan een verlaging van de sterfte aan hart- en vaatziekten.

Resultaat (tabel):

Geslacht	Leeftijdscategorie	Relatief risico*
Mannen laag risico	40 – 59 jaar	0,28
Vrouwen laag risico	40 – 59 jaar	0,27

* *ten opzichte van de frequentie hart-en vaatziekten bij de hoogrisicogroep*

Bron: http://jamanetwork.com/journals/jama/fullarticle/192153

CONTEXT Leefwereld

Binnen 6 minuten

▼ **Afb. 23** Direct starten met reanimatie.



Toen Talisha door het park wandelde, zag ze een man die onwel werd (zie afbeelding 23). Hij ademde niet meer. Ze begon meteen met reanimeren. Haar zus Dianthe belde 112. De politie, die nog voor de ambulance arriveerde, gebruikte de AED. Talisha en haar zus kregen de volgende dag een bos bloemen en een dinerbon van de familie van de man, die het gelukkig heeft overleefd. Net drie weken daarvoor had Talisha een herhalingscursus reanimeren gevolgd bij de EHBO-vereniging. Daar leer je ook hoe je een AED (Automatische Elektronische Defibrillator) moet gebruiken. Een AED kan via elektroden op de huid kamerfibrilleren herkennen en met een elektrische schok het hartritme herstellen. AED-apparaten hangen op drukbezochte punten. In steeds meer plaatsen worden zesminutenzones ingesteld voor snelle actie met reanimatie en defibrillatie.

opdrachten

26 Een ICD (Internal Cardioverter Defibrillator) is een speciaal soort pacemaker voor mensen met levensbedreigende hartritmestoornissen. De ICD herkent een hartritmestoornis en herstelt zo nodig het normale hartritme door elektrische impulsen of een sterke stroomstoot af te geven.

- **a** Geef een overeenkomst en een verschil tussen een AED en een ICD.
- **b** Bij kamerfibrilleren komt het hart in een soort snelle trilstand waardoor het niet effectief meer pompt.
 Leg uit dat in dit geval circulatiestilstand een betere benaming is dan hartstilstand.
- **c** Een AED kan beter geen schok geven bij een normaal hartritme of bij een hartstilstand. Leg dat uit.

27 Bij een circulatiestilstand is het belangrijk dat je snel handelt.

- **a** Noem drie dingen die je moet doen bij een slachtoffer met een circulatiestilstand.
- **b** Waarvoor is het belangrijk om binnen zes minuten de bloedcirculatie te herstellen?
- **c** In vrijwel alle schoolgebouwen is een AED aanwezig.
 Waar bevindt zich op jouw school een AED?
- **d** Hoe kom je erachter hoe een AED werkt?
- **e** Bij welke organisaties kun je leren hoe je een AED moet gebruiken?

Leerdoelen

- Je kent de functies en kenmerken van aders, slagaders en haarvaten.
- Je kunt de delen van het bloedvatenstelsel noemen en daarin zuurstofgehalte, glucosegehalte en stroomrichting van het bloed aangeven.
- Je kunt het verloop van de bloeddruk in de bloedvaten beschrijven.

3 Het bloedvatenstelsel

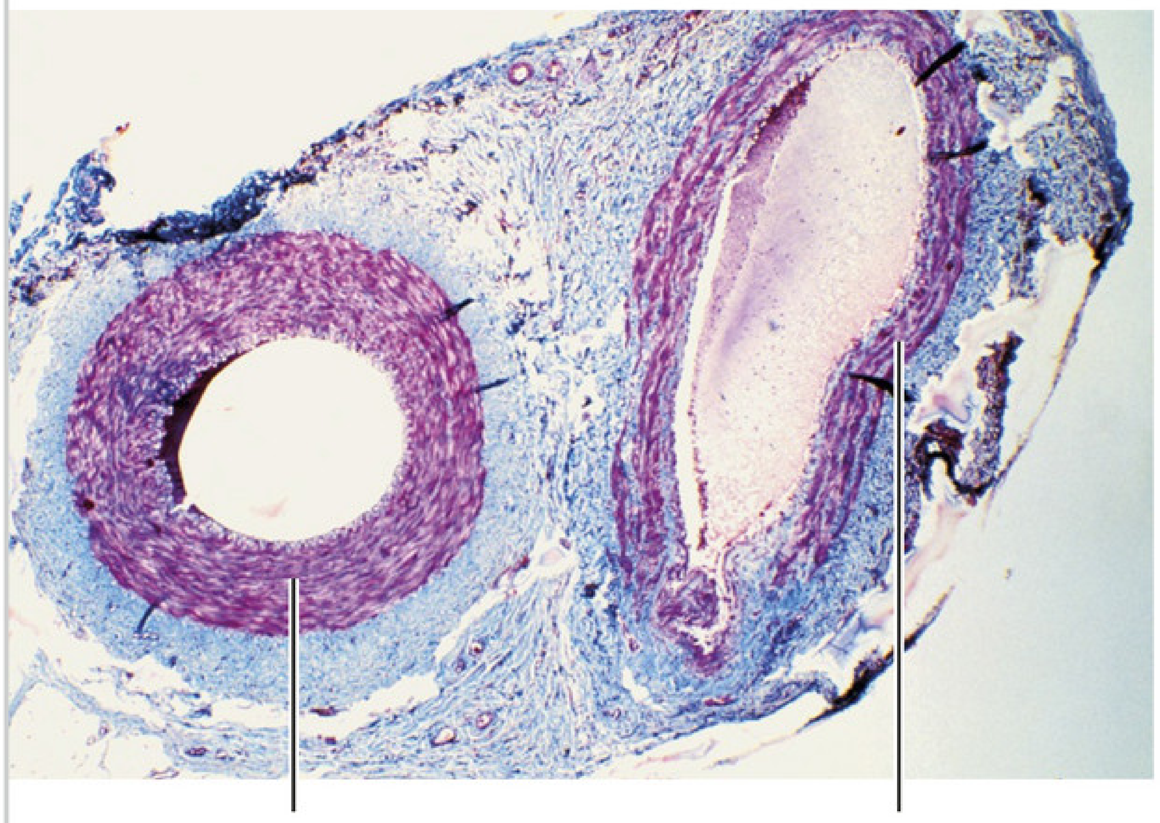
Bloed stroomt met grote snelheid door grote buizen naar de dunste buisjes, waar het uiterst langzaam door de organen stroomt om stoffen uit te wisselen met de organen. De samenstelling van het bloed verandert zo voortdurend.

DRIE TYPEN BLOEDVATEN

Het hart pompt het bloed in **slagaders**. Via slagaders stroomt het bloed weg van het hart, naar de organen toe. Door het pompen van het hart stroomt het bloed stootsgewijs door de slagaders. De wanden van slagaders zijn dan ook dik, stevig en elastisch. Ze bevatten een dikke laag glad spierweefsel (zie afbeelding 24). Slagaders liggen meestal diep in het lichaam, waardoor ze niet gemakkelijk worden beschadigd.
In de organen vertakken de slagaders zich in steeds fijnere bloedvaten. Hierbij wordt de wand van de bloedvaten steeds dunner. Deze wand bestaat voor een groot deel uit glad spierweefsel. Dit maakt het mogelijk dat deze bloedvaten zich vernauwen of verwijden. Hierdoor kan de hoeveelheid bloed worden geregeld die door een bepaald weefsel stroomt. Bij grote lichamelijke inspanning worden de bloedvaten in de skeletspieren, in het hart en in de huid wijder. De bloedvaten in andere delen van het lichaam worden dan nauwer. De bloedtoevoer naar organen kan hierdoor veranderen.

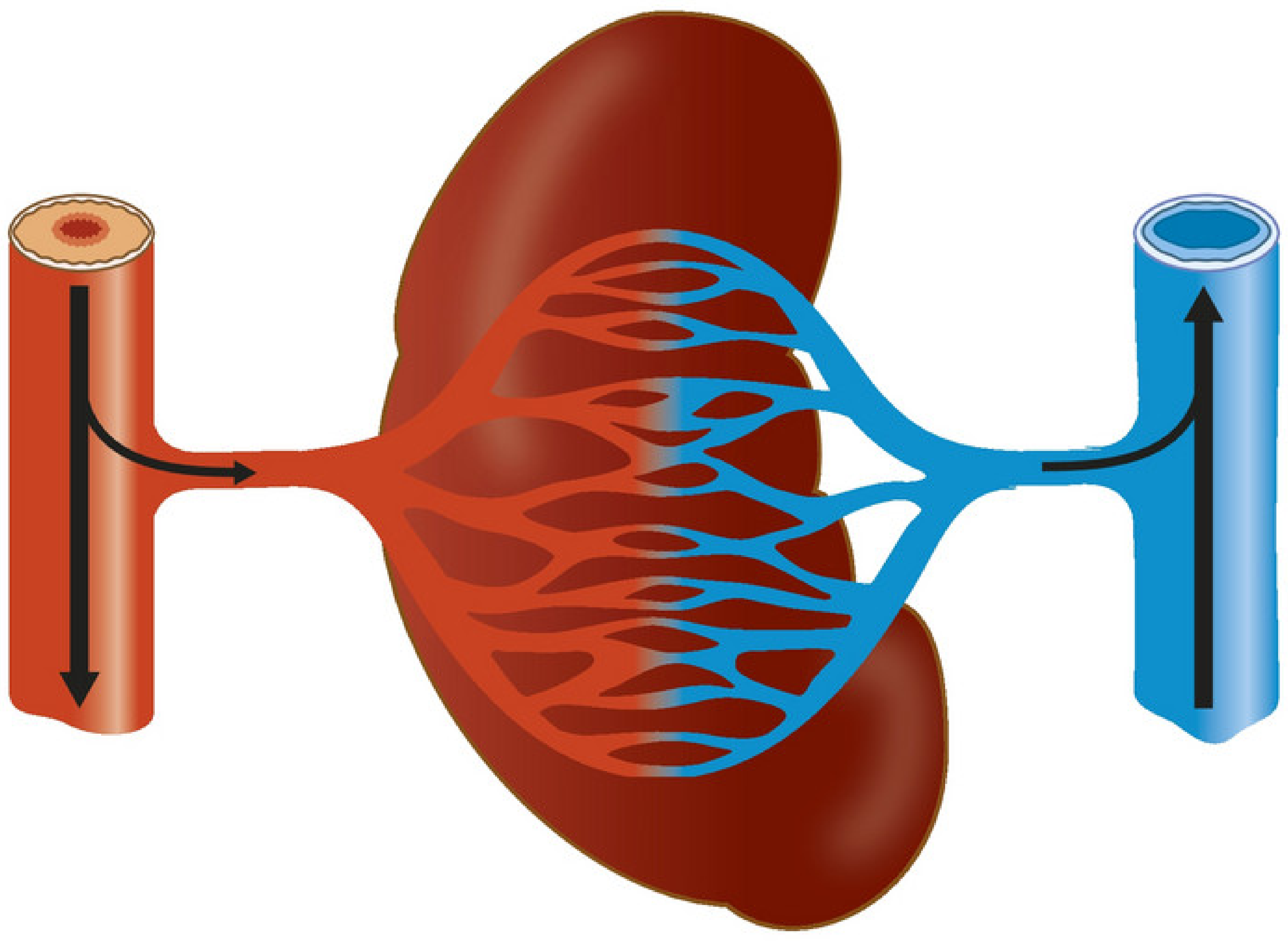
▶▶ PRACTICUMOPDRACHT 4

▼ **Afb. 24** Doorsnede van een slagader en een ader (microscopisch, vergroting 33×).

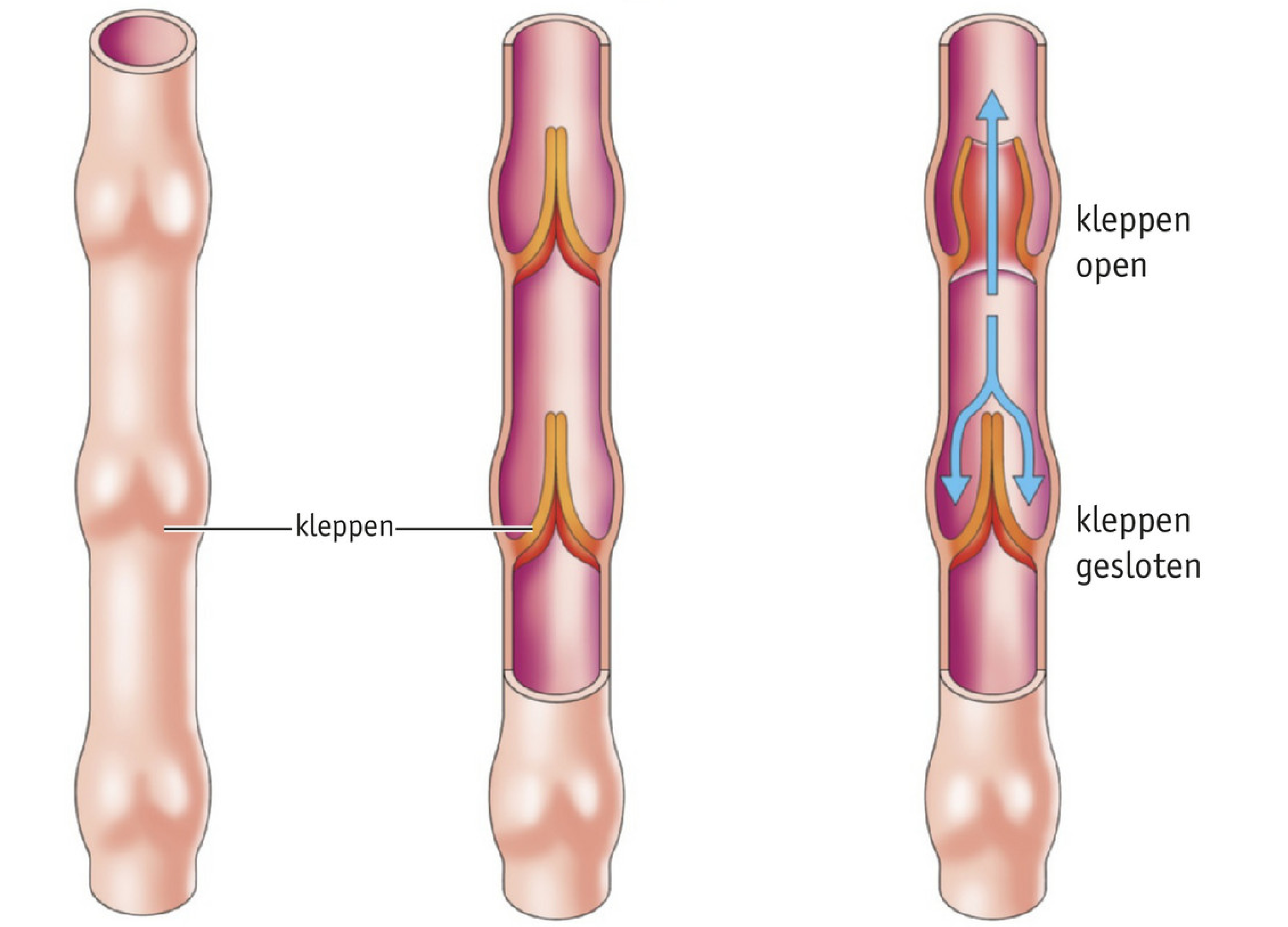


De slagaders vertakken zich tot **haarvaten**, waarvan de wand uit één laag cellen bestaat. Door deze dunne wand kan vocht met voedingsstoffen en zuurstof de haarvaten verlaten en bij de cellen komen. Koolstofdioxide en andere afvalstoffen die door de cellen zijn geproduceerd, kunnen door de dunne wand in de haarvaten terechtkomen. De hoeveelheid bloed die door een haarvatennet stroomt, is afhankelijk van de activiteit van de cellen van het weefsel.
De haarvaten herenigen zich tot **aders**. Hierdoor stroomt het bloed naar het hart terug (zie afbeelding 25). De wanden van aders zijn dunner en minder elastisch dan die van slagaders. De bloeddruk in de aders is lager dan die in de haarvaten. Veel aders bevatten kleppen, vooral de aders in de armen en benen. Deze **aderkleppen** laten het bloed slechts in één richting door (zie afbeelding 26). In aders is geen hartslag meer merkbaar. Aders liggen meestal minder diep in het lichaam. Je kunt ze bijvoorbeeld aan de onderzijde van je arm zien liggen als blauwe strepen.

▶ **Afb. 25** De bloedstroom door een orgaan (schematisch).



▶ **Afb. 26** Werking aderkleppen (schematisch).



opdrachten

	S	A
1 Het bloed stroomt		
2 De bloeddruk is		
3 De wand is		
4 De bloedstroom is		
5 Ze liggen meestal		
6 Kleppen zijn		

28 Neem de tabel over (S = slagaders, A = aders) en vul hem in.
Gebruik bij 1: *van de organen naar het hart – van het hart naar de organen*.
Gebruik bij 2: *hoog – laag*.
Gebruik bij 3: *dik, stevig en elastisch – dun, weinig elastisch*.
Gebruik bij 4: *regelmatig – stootsgewijs (kloppend)*.
Gebruik bij 5: *diep in het lichaam – minder diep in het lichaam*.
Gebruik bij 6: *aanwezig, vooral in de armen en benen – niet aanwezig (behalve halvemaanvormige kleppen)*.

29 Waardoor is een slagaderlijke bloeding gevaarlijker dan een aderlijke bloeding?

30 Bij atleten bevinden zich in de spieren veel meer haarvaten dan bij mensen die niet aan sport doen. Leg uit welk voordeel dit heeft.

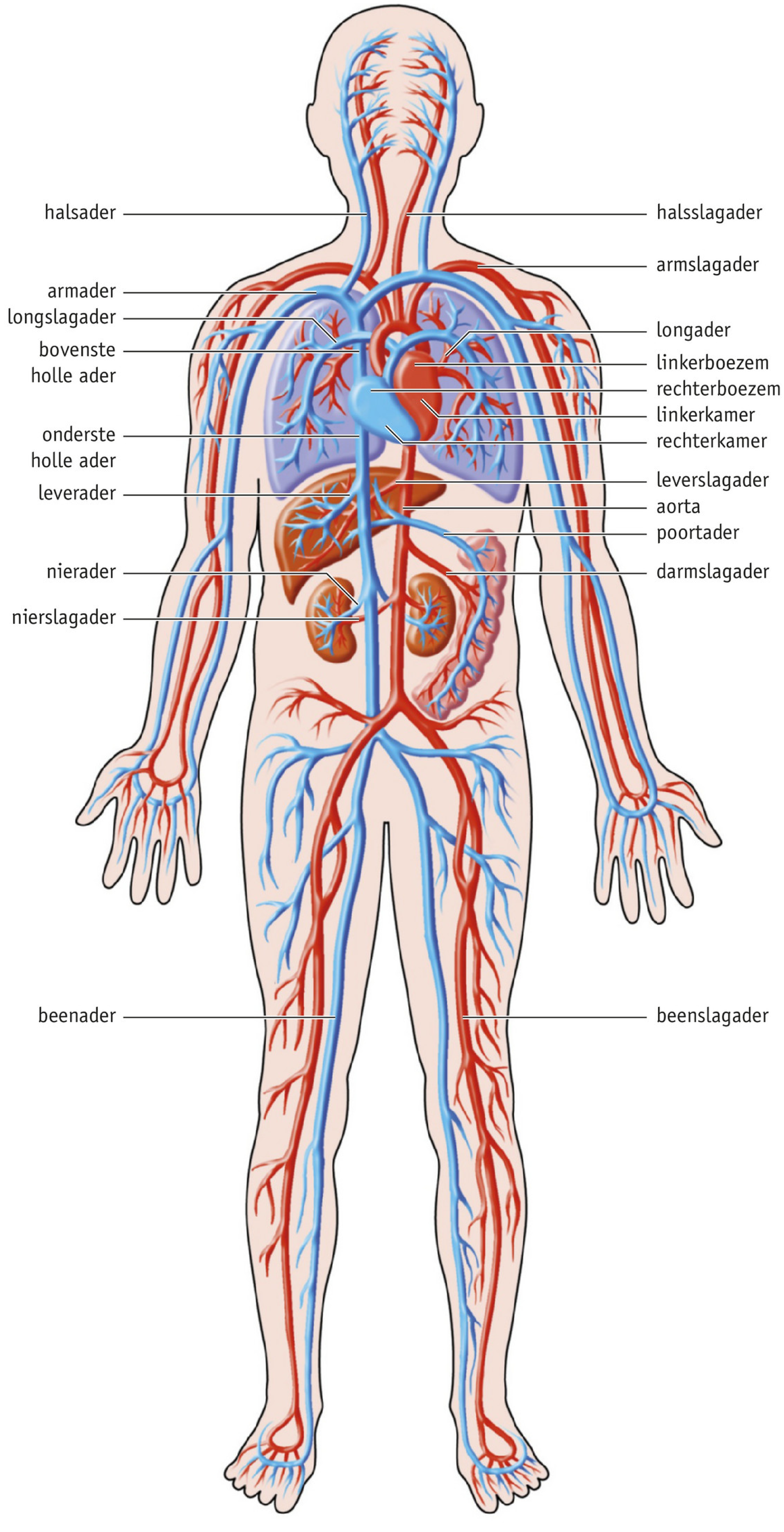
31 De bloedstroom naar de organen hangt af van de omstandigheden. Zo bedraagt de bloedtoevoer naar de buikholte bijvoorbeeld 1400 mL/min tijdens de slaap en 300 mL/min tijdens maximale inspanning. De bloedtoevoer naar de skeletspieren neemt juist toe als je je meer inspant.

- **a** In de wand van de vertakkingen van slagaders bevindt zich spierweefsel. Wat is de functie van dit spierweefsel?
- **b** Bij zware arbeid stroomt er meer bloed door de huid. Wat is daarvan het nut?
- **c** Bij maximale lichamelijke inspanning stroomt er weer minder bloed door de huid. Leg dat uit.
- **d** Naar welk orgaan is de bloedtoevoer onder alle omstandigheden constant?

NAAMGEVING VAN DE BLOEDVATEN

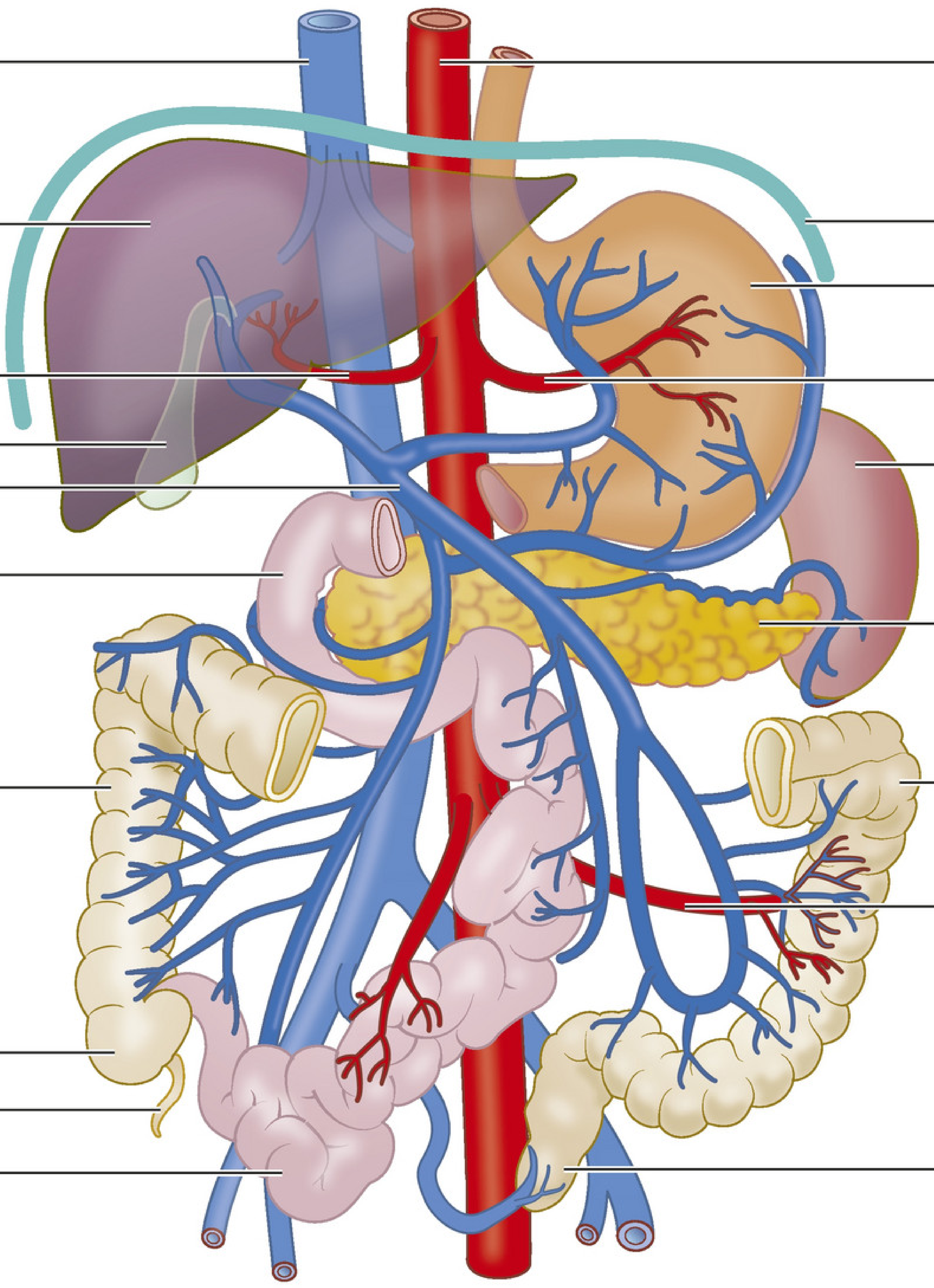
In afbeelding 27 zijn de belangrijkste bloedvaten van het bloedvatenstelsel van de mens getekend. Slagaders en aders hebben in het algemeen de naam van het orgaan waar ze naartoe of vandaan lopen. De ader die het bloed afvoert uit de wand van het darmkanaal vormt een uitzondering.

▶ **Afb. 27** Het bloedvatenstelsel bij de mens (schematisch, haarvaten ontbreken).



Het bloed uit de wand van een groot deel van het darmkanaal gaat via de **poortader** naar de lever (zie afbeelding 28). Daarnaast ontvangt de lever bloed via de leverslagader. In de darmwand vindt resorptie van voedingsstoffen plaats. Het bloed in de poortader kan hierdoor sterk in samenstelling variëren. Hormonen uit de alvleesklier regelen of de lever glucose opslaat of afgeeft. De lever en de alvleesklier vervullen zo belangrijke functies in het constant houden van de samenstelling van het bloed.

Afb. 28 De poortader met vertakkingen (de haarvaten zijn weggelaten).



opdrachten

32 De meeste slagaders bevatten zuurstofrijk bloed en de meeste aders zuurstofarm bloed.

a Welke slagaders en aders vormen een uitzondering op deze regel?

b Leg uit hoe het komt dat je aan de bloedvaten in je polsen wel je hartritme kunt voelen en aan de meeste andere bloedvaten in je armen niet.

33 Wanneer iemand een alcoholhoudende drank drinkt, is korte tijd daarna alcohol in het bloed aan te tonen. Alcohol wordt door enzymen in de lever afgebroken, waardoor de alcoholconcentratie in het bloed weer afneemt.

a Alcoholmoleculen kunnen via de wand van de dunne darm in het bloed worden opgenomen.
Via welk bloedvat gaat een alcoholmolecuul van de dunne darm naar de lever?

b Alcoholmoleculen kunnen ook via de longen worden uitgescheiden. Daardoor kun je het vaak ruiken als iemand alcohol heeft gebruikt.
Door welke bloedvaten en hartdelen gaat een alcoholmolecuul dat via de kortste weg van de wand van de dunne darm naar de longen gaat?

c Alcoholmoleculen kunnen al in de mond in het bloed worden opgenomen.
Door welke bloedvaten en hartdelen gaat een alcoholmolecuul dat via de kortste weg van de mond naar de lever gaat?

34 De hormonen insuline en glucagon regelen de opname en afgifte van glucose door de lever.

a Via welk bloedvat bereiken deze alvleesklierhormonen de lever?

b Is het bloed in dit bloedvat zuurstofrijk of zuurstofarm? Leg je antwoord uit.

c Sommige medicijnen worden als zetpillen via de endeldarm ingebracht. Verklaar de effectieve werking van zetpillen.

35 Je kunt de namen van de bloedvaten van buiten leren of de regelmaat in de naamgeving gebruiken.

a Welke algemene regel geldt voor de naamgeving van bloedvaten?

b Wat heeft jouw voorkeur: van buiten leren of gebruikmaken van de samenhang van de regelmaat?

36 Afbeelding 29 stelt een deel voor van de bloedsomloop van een mens.

a Noteer de namen van de genummerde bloedvaten.

b Welk orgaan stelt P voor?

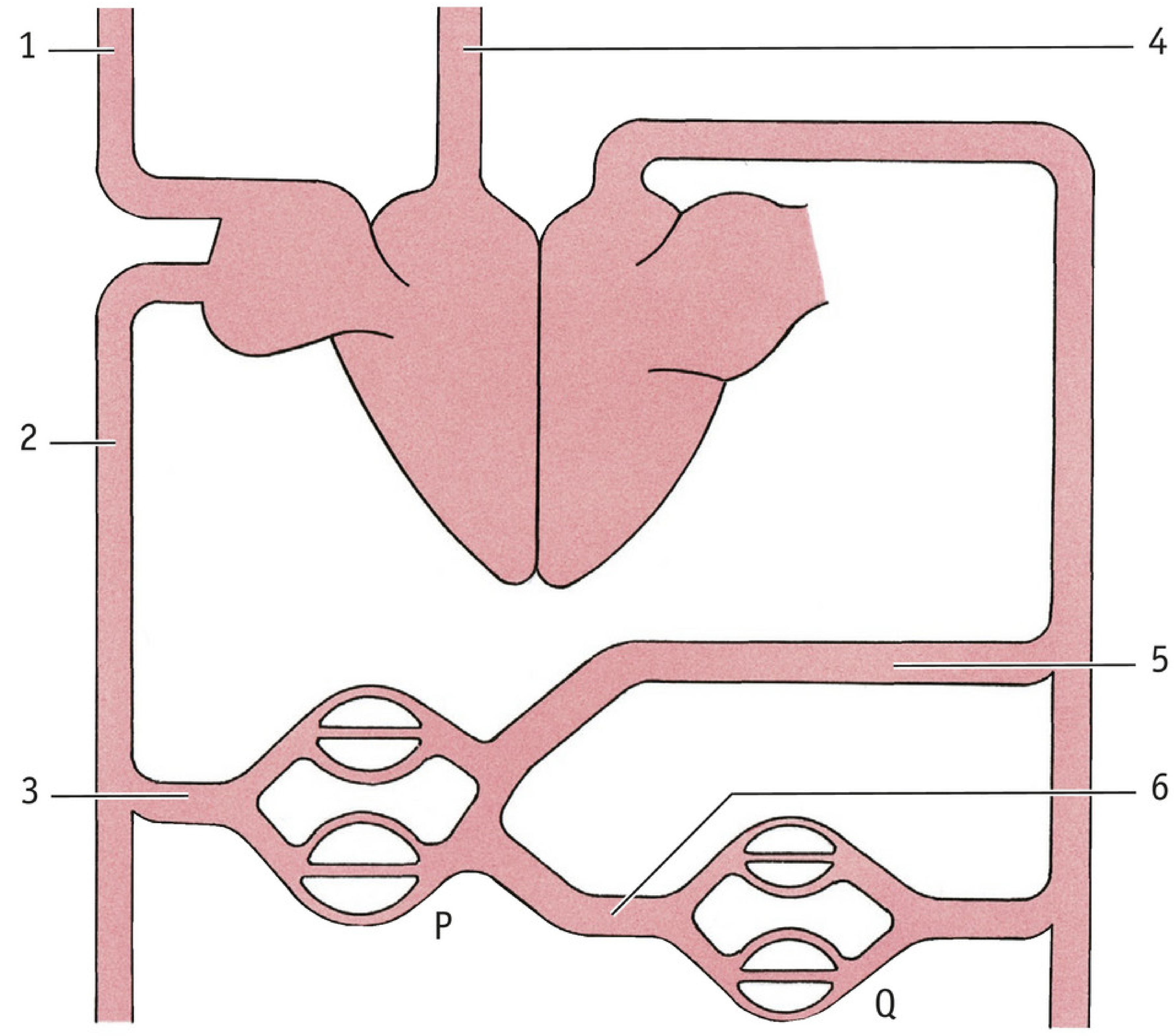
c Welk orgaan kan worden voorgesteld door Q? Geef vier mogelijkheden.

d De hoeveelheid bloed die per minuut door de genummerde bloedvaten stroomt, is niet gelijk.
Rangschik bloedvat 2 tot en met 5. Begin met het bloedvat waar de grootste hoeveelheid bloed doorheen stroomt.

e Het glucosegehalte van het bloed in de genummerde bloedvaten is niet gelijk.
In welk van de genummerde bloedvaten kan het glucosegehalte van het bloed het sterkst variëren?

f In welk van de genummerde bloedvaten is het glucosegehalte van het bloed het hoogst na een periode van vasten?

g Rangschik bloedvat 1 tot en met 4 op glucosegehalte van het bloed na een periode van vasten. Begin met het bloedvat waarin het bloed het hoogste glucosegehalte heeft.



▶ **Afb. 29** Deel van de bloedsomloop van de mens (schematisch).

BLOEDDRUK

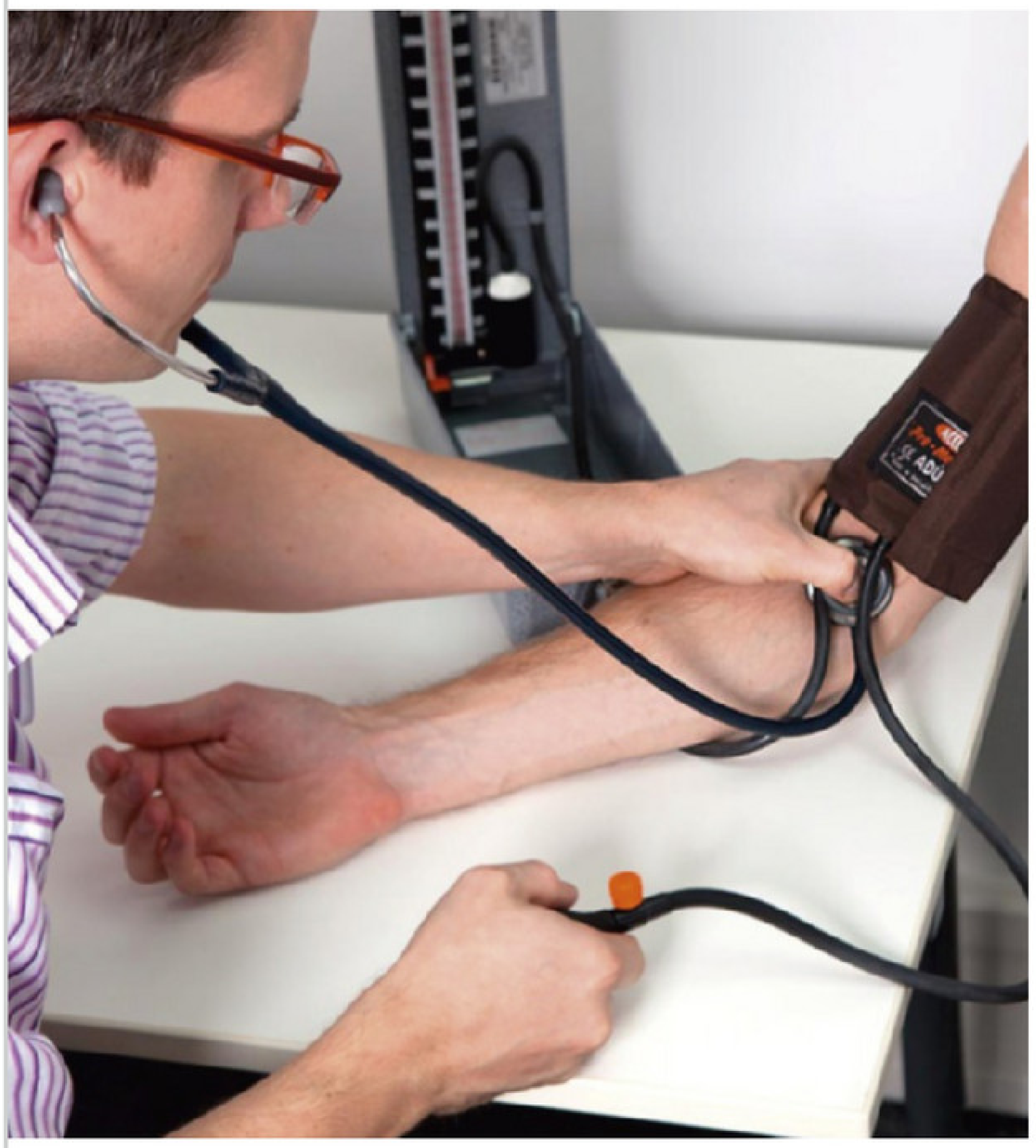
De druk die het bloed uitoefent op de wand van de bloedvaten noem je de **bloeddruk**. De belangrijkste oorzaak van de bloeddruk is het samentrekken van de hartkamers, vooral van de linkerkamer. Als de halvemaanvormige kleppen zijn opengedrukt, is de bloeddruk in de hartkamers gelijk aan die in de aangesloten slagaders. De hoge bloeddruk in de slagaders wordt opgevangen doordat de elastische wand van de slagaders uitzet. De bloeddruk daalt daardoor iets. Als het samentrekken van de hartkamers is voltooid, nemen de terugverende elastische wanden van de slagaders de pompende kracht over.

De maximale druk op het moment dat de kamers zich samentrekken, is de **bovendruk**. De minimale druk tijdens de hartpauze is de **onderdruk**. Bloeddruk wordt opgegeven als bovendruk/onderdruk in mm Hg. Een bloeddruk rond de 120/80 mm Hg is normaal. De bloeddruk stijgt normaal gesproken bij toenemende inspanning of als je je opwindt. Een voortdurend hoge bloeddruk kan worden veroorzaakt door stress, roken, overgewicht, vaak zout eten en door slagaderverkalking, wat vooral bij oudere mensen voorkomt. Ook erfelijke factoren spelen een rol.

Slagaderverkalking ontstaat door afzetting van cholesterol tegen de wand van bloedvaten. Uiteindelijk wordt ook kalk afgezet. De elasticiteit van de vaatwand vermindert en de vaten vernauwen. Raken een of meer vertakkingen van een kransslagader verstopt, dan krijgt een deel van de hartspier geen zuurstof en voedingsstoffen meer. Dit deel sterft dan af. Zo'n **hartinfarct** kan dodelijk zijn als een groot deel van de hartspier afsterft. Maar de meeste hartpatiënten krijgen eerst een 'waarschuwing'. Dan raakt een kleine aftakking van de kransslagader verstopt. Als het hart in goede conditie is, kunnen nieuwe aftakkingen ontstaan (meestal vanaf een ander bloedvat) die de taak overnemen.

METING VAN DE BLOEDDRUK

▼ **Afb. 30** Meting van de bloeddruk.



De bloeddruk varieert gedurende de dag. Bij lichamelijke inspanning of bij stress kan de bovendruk hoger zijn. Een bloeddrukmeting is een momentopname. Om een goede indruk te krijgen van de bloeddruk is het belangrijk om meerdere keren en op verschillende momenten te meten. Bij veel mensen stijgt de bloeddruk met de leeftijd.

De meting van de bloeddruk gaat als volgt (zie afbeelding 30). In een manchet om de bovenarm wordt lucht gepompt tot de armslagader wordt dichtgedrukt en er geen vaatgeruis meer hoorbaar is. De druk in de manchet is dan hoger dan de bovendruk. De manchet bevindt zich op harthoogte. De onderarm ligt ontspannen op tafel.
De arts laat de lucht ontsnappen uit de manchet tot bij elke samentrekking van de hartkamer de armslagader net een beetje wordt opengedrukt. Zodra de arts dit **vaatgeruis** kan horen met de stethoscoop, is de druk in de manchet gelijk aan de bovendruk (gemiddeld 120 mm Hg). Hierna laat de arts nog meer lucht ontsnappen. Het bloed stroomt dan ongestoord door de slagader. Zodra geen vaatgeruis meer hoorbaar is, is de druk in de manchet gelijk aan de onderdruk (gemiddeld 80 mm Hg).

opdrachten

37 Een arts verricht een bloeddrukmeting bij een persoon (zie afbeelding 31). De arts heeft de manchet om de bovenarm aangebracht en opgepompt. De arts is nog niet begonnen met het laten leeglopen van de manchet.

a Is er op dit moment bij de arm waaraan de bloeddrukmeting wordt verricht een polsslag te voelen?

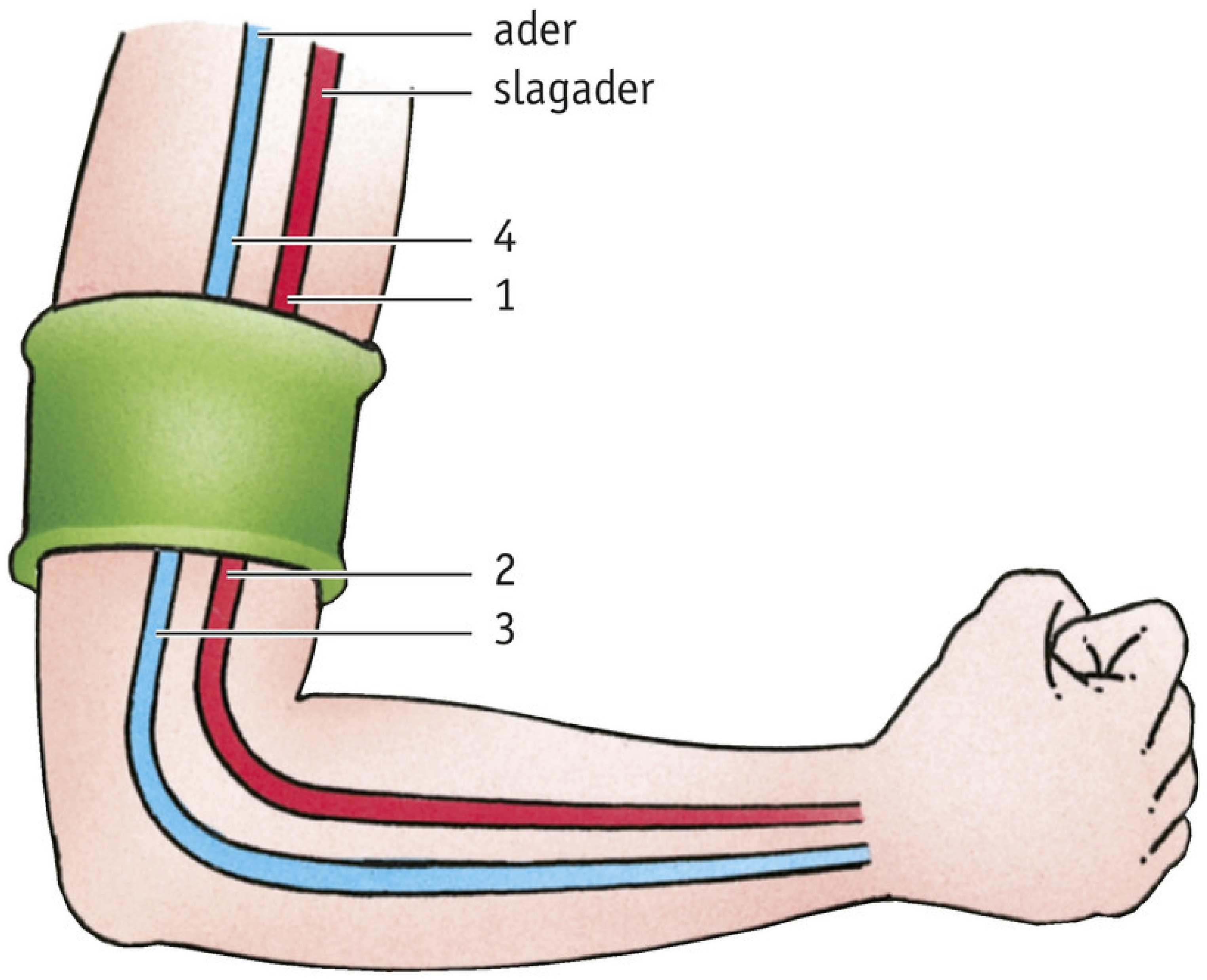
b Op welk van de aangegeven plaatsen in afbeelding 31 zal de bloeddruk op dit moment het laagst zijn? Leg je antwoord uit.

c Vervolgens laat de arts de manchet geleidelijk leeglopen.
Op welk van de aangegeven plaatsen zal hierdoor het eerst de bloeddruk stijgen? Leg je antwoord uit.

d Op welk van de aangegeven plaatsen zal de arts nu vaatgeruis kunnen horen?

e De bloeddruk kan worden gemeten met een manchet of met een polsbloeddrukmeter (zie afbeelding 32).
Welke meetmethode heeft de hoogste validiteit? Licht je antwoord toe.

▼ **Afb. 31** Aders en slagaders boven en onder een manchet.



▼ **Afb. 32** Digitale polsbloeddrukmeter.



38 Roken, stress en bepaalde voedingsgewoonten vergroten de risico's op hoge bloeddruk en hart- en vaatziekten. Wellicht ken je in je directe omgeving mensen met risicogedrag.

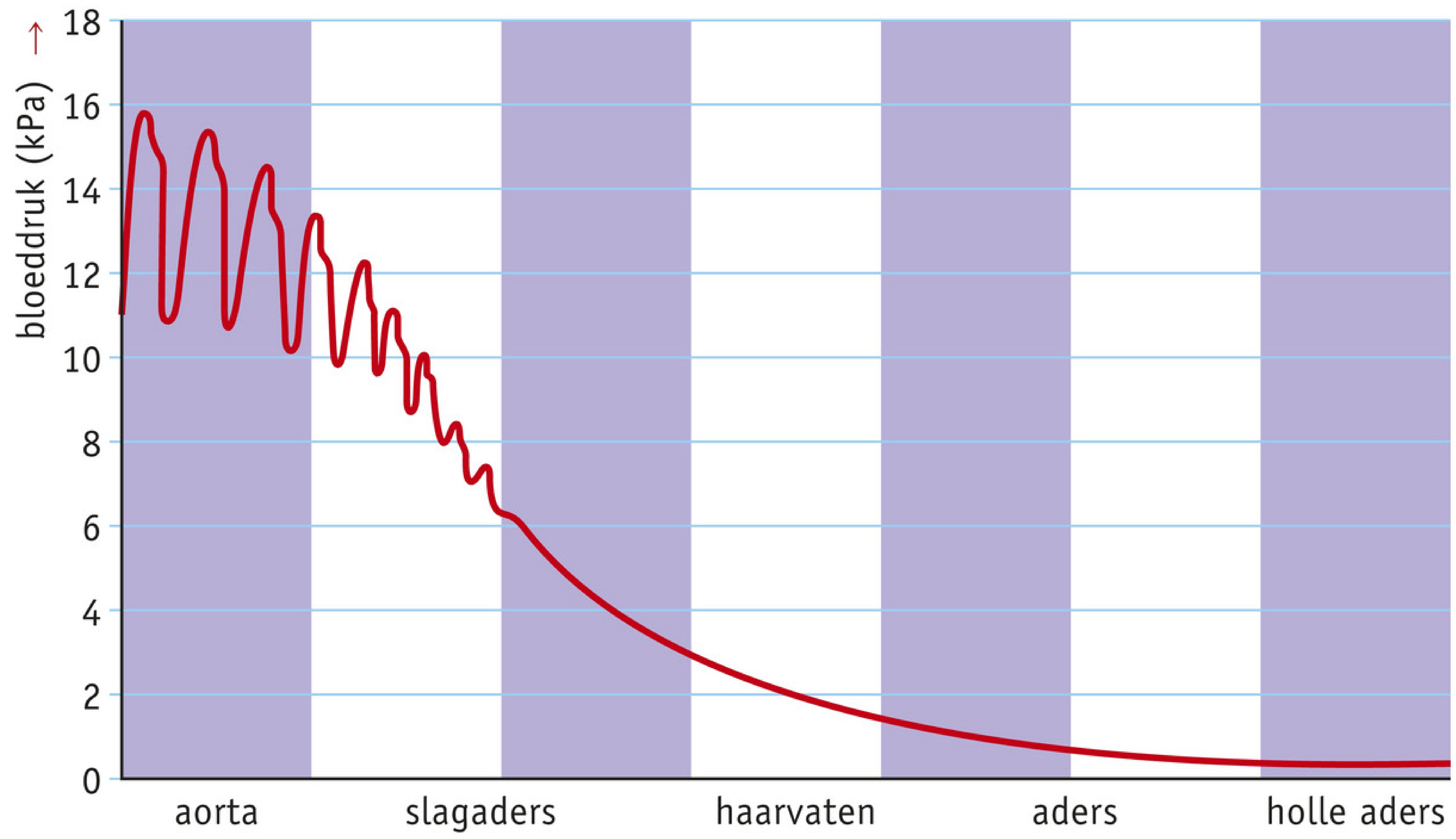
a Maak met een medeleerling een pakkend videofilmpje van een halve minuut om het risicogedrag van deze doelgroep te veranderen.

b In het belang van de volksgezondheid heeft de overheid het roken in openbare gebouwen verboden.
Geef een argument voor en een argument tegen om ook suikerhoudende frisdrank te verbieden.

VARIATIE IN BLOEDDRUK EN STROOMSNELHEID

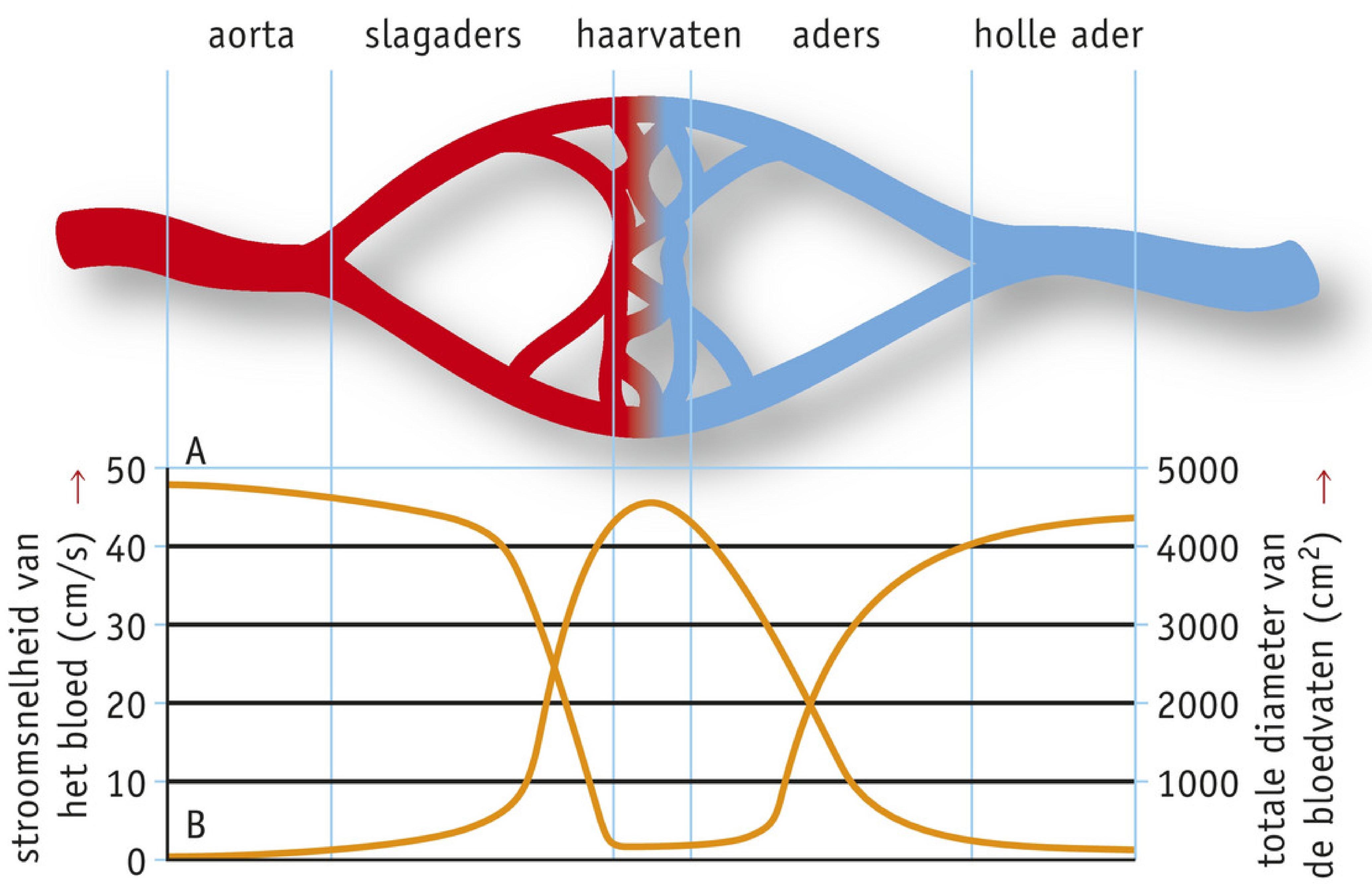
In afbeelding 33 is te zien dat de bloeddruk in een slagader sterk op en neer gaat onder invloed van de hartslagen. De toppen van de grafiek geven de bloeddruk weer tijdens de samentrekking van de hartkamers; de dalen geven de bloeddruk weer tijdens de hartpauze. Tijdens het stromen van het bloed van slagaders via haarvaten naar aders neemt de bloeddruk voortdurend af.

▶ **Afb. 33** De bloeddruk in verschillende typen bloedvaten (10 kPa = 75 mm Hg).

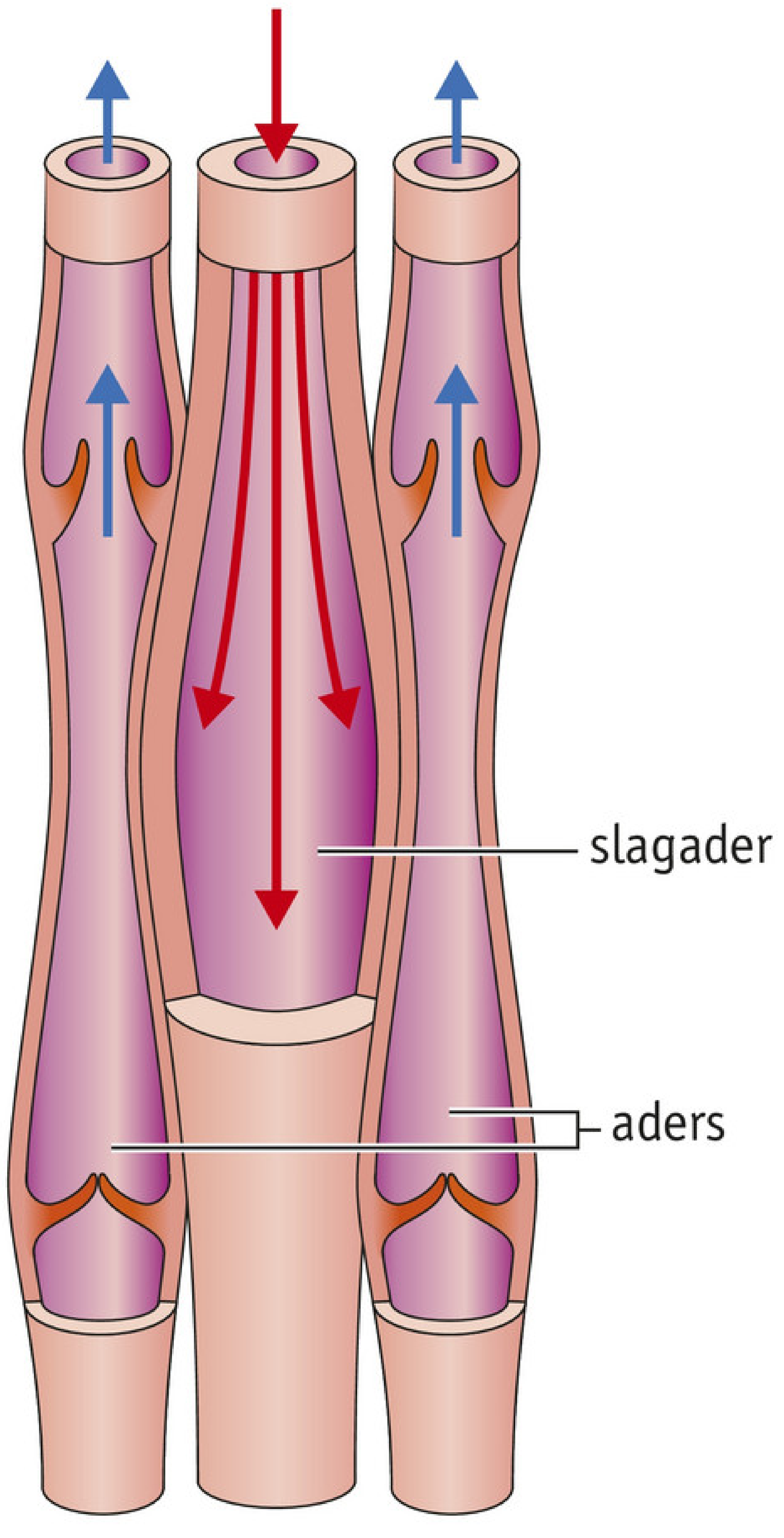


De stroomsnelheid van het bloed varieert (zie afbeelding 34). In de haarvaten is de stroomsnelheid van het bloed het laagst. Dat komt doordat de totale diameter van alle haarvaten samen groter is dan die van de aanvoerende slagaders of die van de afvoerende aders. Door de lage stroomsnelheid van het bloed in de haarvaten is een goede uitwisseling van stoffen tussen het bloed en de omringende cellen mogelijk.

▶ **Afb. 34** Het verband tussen de stroomsnelheid van het bloed en de totale diameter bij verschillende typen bloedvaten.



▼ **Afb. 35** Stimulering van de bloedstroom in de aders door een naastgelegen slagader.



Als het bloed vanuit de haarvaten naar de aders stroomt, neemt de stroomsnelheid van het bloed weer toe. De bloeddruk neemt dan verder af. In de armen en benen is de bloeddruk in de aders vaak te laag om de bloedstroom op gang te houden. In de beenaders bijvoorbeeld moet het bloed meestal over een grote afstand tegen de zwaartekracht in stromen. In de benen liggen de aders tegen slagaders aan (zie afbeelding 35). Daardoor veroorzaken de kloppende slagaders een stootsgewijze druk op het bloed in de aders. Verder kunnen beenspieren die zich samentrekken het bloed uit een ader wegdrukken. De kleppen voorkomen dat het bloed de verkeerde kant op stroomt.

opdrachten

39 Gebruik bij vraag a en b afbeelding 33.

a Hoeveel bedraagt de bovendruk en de onderdruk (in kPa) in het begin van de aorta?

b De gemiddelde bloeddruk neemt af van slagaders naar haarvaten naar aders. Verklaar dat dit drukverloop noodzakelijk is voor de bloedstroming.

c Is de bloeddruk in de longslagader lager dan, gelijk aan of hoger dan de bloeddruk in de aorta? Leg je antwoord uit.

d Door afzetting van cholesterol kunnen bloedvaten nauwer worden. Welk effect heeft vernauwing van slagaders op de bloeddruk? Leg je antwoord uit.

e Welke invloed hebben de volgende veranderingen op de bloeddruk?

1 Plotseling bloedverlies bij een verwonding.
2 Versnelling van het hartritme.
3 Stijging van de osmotische waarde van het bloedplasma.

40 In afbeelding 34 zijn twee grafieken getekend: A en B.

a Welke grafiek geeft het verloop van de gemiddelde stroomsnelheid weer?

b De stroomsnelheid van het bloed in de haarvaten is laag. Leg uit dat dit functioneel is.

c Door afzetting van cholesterol kunnen bloedvaten nauwer worden. Welk effect heeft vernauwing van slagaders in een groot deel van het lichaam op de stroomsnelheid van het bloed dat door de skeletspieren stroomt?

41 De zintuigcellen voor de bloeddruk liggen in de halsslagaders.

a Leg uit welk belang dit heeft.

b Is de regeling van het hartritme en de bloeddruk via zintuigcellen (sensoren) een voorbeeld van positieve of van negatieve terugkoppeling? Verklaar je antwoord.

▼ **Afb. 36**

ONDERZOEK	DE INVLOED VAN VITAMINE K2 OP DE VAATELASTICITEIT
Inleiding	Uit onderzoek blijkt dat een laag vitamine K2-gehalte in de vaatwand een ernstige risicofactor is voor overlijden aan hart- en vaatziekten, vergelijkbaar met roken.
Onderzoeksvraag	Kan toediening van vitamine K2 slagaderverkalking voorkomen?
Hypothese	Toediening van vitamine K2 kan slagaderverkalking voorkomen.
Experiment	Honderden vrouwen tussen de 55 en 65 jaar kregen gedurende drie jaar gezuiverd vitamine K2 in lage dosering of een placebo toegediend als voedingssupplement.
Resultaat	Slagaderverkalking wordt niet alleen gestopt, maar al verstijfde bloedvatwanden worden weer elastischer. Vitamine K2 remt ook de botontkalking bij vrouwen na de overgang.
Conclusie	

Bron: Maastricht University.

42 Het dichtslibben van bloedvaten door afzetting van cholesterol en kalk wordt slagaderverkalking genoemd. Afbeelding 36 beschrijft een onderzoek naar de invloed van vitamine K2 op slagaderverkalking.

a Verklaar het verband tussen slagaderverkalking en de elasticiteit van bloedvaten.

b Leg uit dat verkalking van aders minder een probleem is dan verkalking van slagaders.

c Waarvoor is het belangrijk dat een grote groep aan een onderzoek meewerkt?

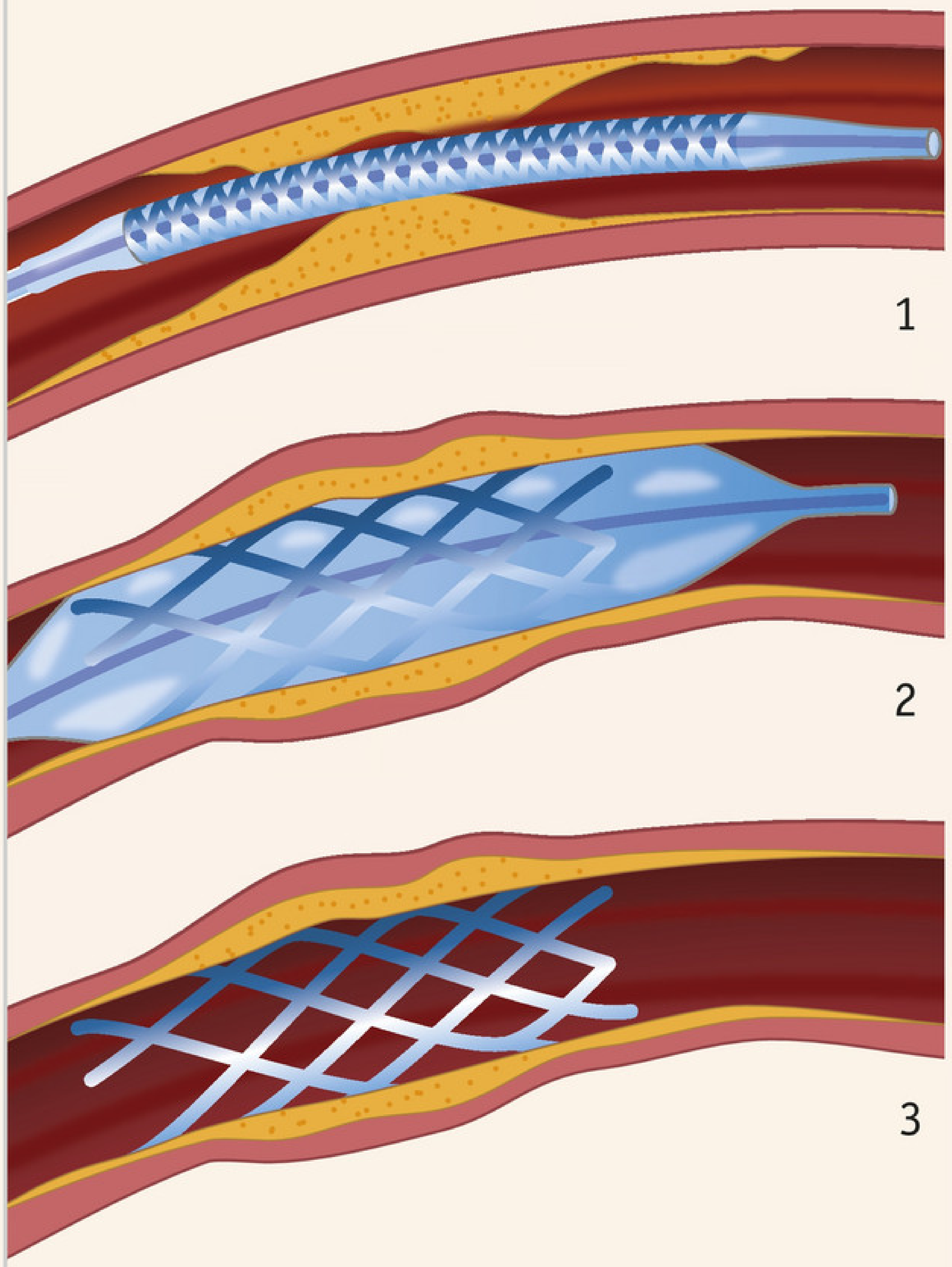
d De controlegroep kreeg een placebo. Leg uit waarom.

e Formuleer de conclusie voor dit onderzoek.

CONTEXT Leefwereld

Dotteren

▼ **Afb. 37** Plaatsing van een stent in een bloedvat.



Een dotter- en stentbehandeling is een veelvoorkomende behandeling om ernstige vernauwingen in de kransslagaders op te heffen. Het is niet bij alle vernauwingen nodig om te dotteren. Eerst wordt gekeken of behandeling met medicijnen een optie is. Bij vernauwingen van 50 tot 70% overweegt de cardioloog een dotter- en stentbehandeling. Dotteren is een vrij eenvoudige, kostenbesparende en weinig belastende ingreep. Door het dotteren hoeft één op de drie patiënten niet te worden geopereerd.
Bij dotteren schuift de hartchirurg via een sneetje in de lies een slangetje of een buisje door een bloedvat naar het hart van de patiënt (zie tekening 1). Aan het uiteinde van het slangetje zit een ballonnetje. Op de plaats van de vernauwing in de kransslagader wordt het ballonnetje opgepompt (zie tekening 2). De vernauwing wordt dan als het ware weggedrukt. In de meeste gevallen plaatst de hartchirurg ook een stent (zie tekening 3). Een stent is een soort balpenveertje van metaal. De stent geeft de vaatwand extra ondersteuning en voorkomt dat het bloedvat na het dotteren weer terugveert.

opdracht

43 Bepaalde leefgewoonten vergroten de kans op vernauwde slagaders.

- **a** Noem vier leefgewoonten die de kans op slagadervernauwing vergroten.
- **b** Welke drie behandelingen kunnen worden toegepast bij kransslagadervernauwing?
- **c** Noem drie voordelen van medicijnen boven dotteren.
- **d** De arts schuift het slangetje via een sneetje in de lies naar het hart. Via welke bloedvaten bereikt het slangetje de kransslagader?
- **e** Bij meerdere vernauwingen zal eerder een bypassoperatie worden overwogen. Bij een bypass wordt een ‘omleiding’ om het vernauwde bloedvat gelegd. Noem twee voordelen van een dotter- en stentbehandeling in vergelijking met een bypassoperatie.

Leerdoelen
- Je kunt de bestanddelen van bloed noemen met hun kenmerken en functies.
- Je kunt het proces van bloedstolling beschrijven en verklaren.

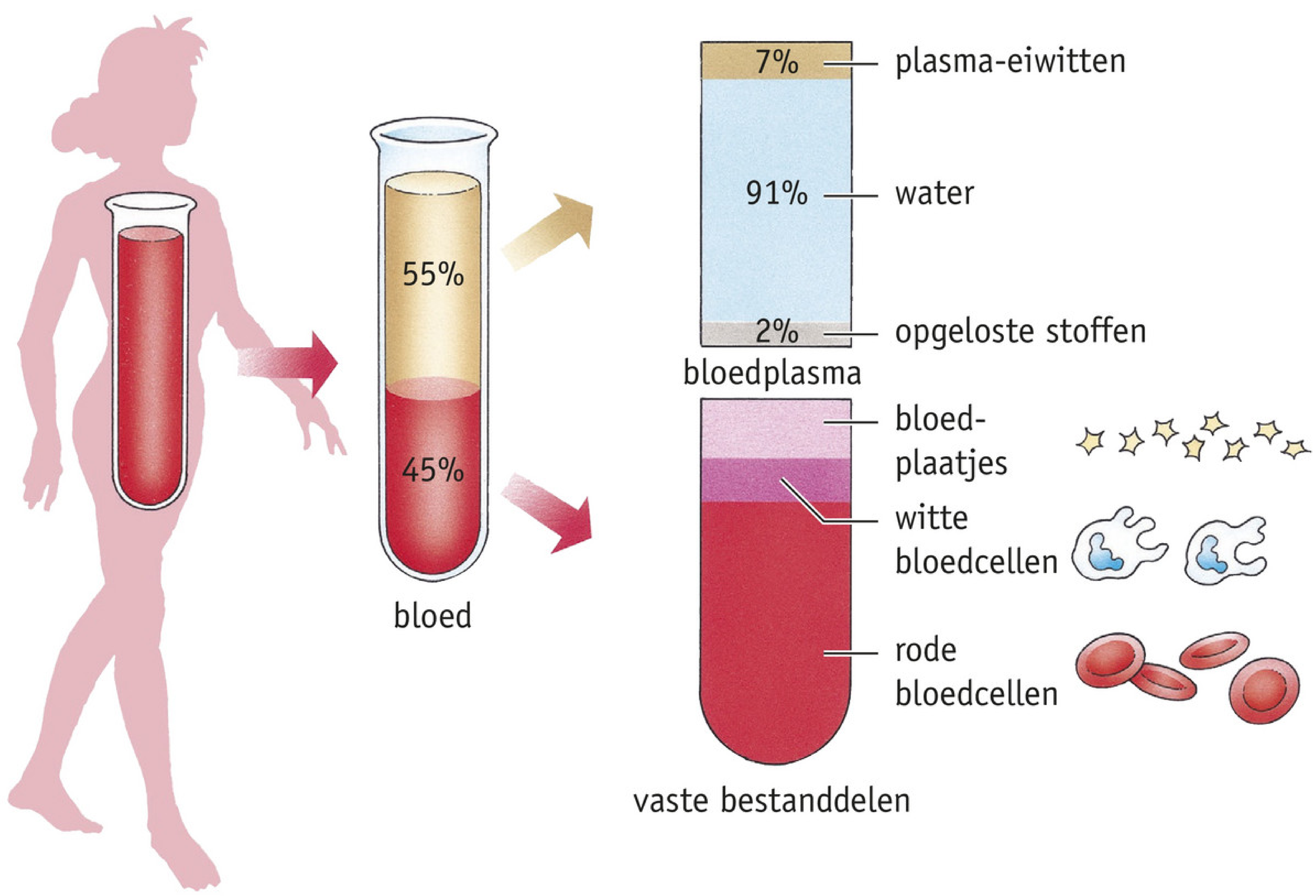
4 Het bloed

Je bloed is een bijzonder goedje. In de waterige vloeistof lossen bouwstoffen, afvalstoffen, brandstoffen, signaalstoffen en zelfs vetachtige stoffen op. Meedrijvende (delen van) cellen laden en lossen zuurstof, verwijderen indringers en zorgen ervoor dat lekkages worden gedicht.

BLOEDPLASMA

In afbeelding 38 zie je de gemiddelde samenstelling van het bloed van de mens. Ongeveer 55% van het bloed bestaat uit **bloedplasma**: water met opgeloste stoffen en plasma-eiwitten. Bloedplasma vervoert vele stoffen, zoals zuurstof, voedingsstoffen, afvalstoffen, regelende stoffen (bijvoorbeeld enzymen en hormonen) en beschermende stoffen (bijvoorbeeld antistoffen). Sommige van deze stoffen lossen goed op in het bloedplasma, bijvoorbeeld glucose, melkzuur en ureum.

Andere stoffen, waaronder vetten, worden gebonden aan eiwitten in het bloedplasma en op die manier vervoerd. Plasma-eiwitten zijn ook belangrijk bij de handhaving van de osmotische waarde van het bloed en van de bloeddruk. Bloedplasma speelt een rol bij het constant houden van het interne milieu. Bloedplasma heeft een vrij constante temperatuur van ongeveer 38 °C, een pH van ongeveer 7,4 en een osmotische waarde die gelijk is aan die van een 0,9% NaCl-oplossing (een fysiologische zoutoplossing).



Afb. 38 Bloedsamenstelling (gemiddeld).

opdrachten

44 Bloed vervoert verschillende typen stoffen.

a Noem vijf (groepen) stoffen die door bloedplasma worden vervoerd.

b Welke vaste bestanddelen komen in bloed het talrijkst voor? En welke het minst talrijk?

c Vetten zijn niet oplosbaar in water.
Op welke manier kan het bloed toch vetten vervoeren?

▼ **Afb. 39** Bloedbezinking.



45 Afbeelding 39 is een foto van een reageerbuis met bloed. Dit bloed heeft enkele dagen gestaan. Het onderste deel van het bloed in de buis is rood, het bovenste deel lichtgeel.

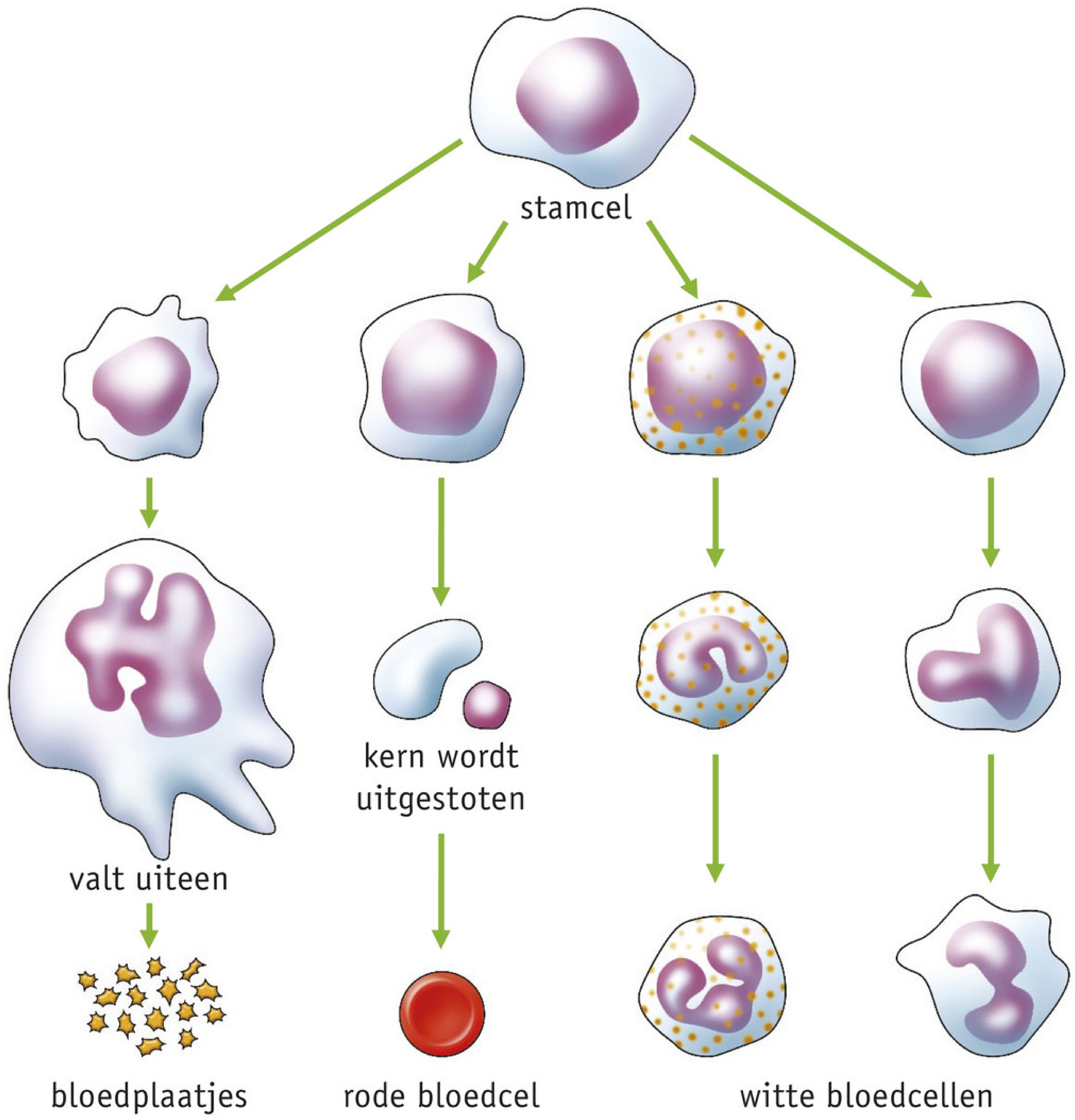
a Welk bestanddeel van bloed bevindt zich boven in de reageerbuis? En welke bestanddelen bevinden zich onderin?

b Leg uit hoe het komt dat deze bestanddelen bezinken.

BEENMERG

Rode en witte bloedcellen en bloedplaatjes ontstaan uit stamcellen in het rode beenmerg (zie afbeelding 40). Het **rode beenmerg** is een sponsachtig materiaal in de holten van botten, vooral in de wervels, in platte beenderen en in de uiteinden van pijpbeenderen. Naast het rode beenmerg is er geel beenmerg, waarin veel vetcellen zitten.

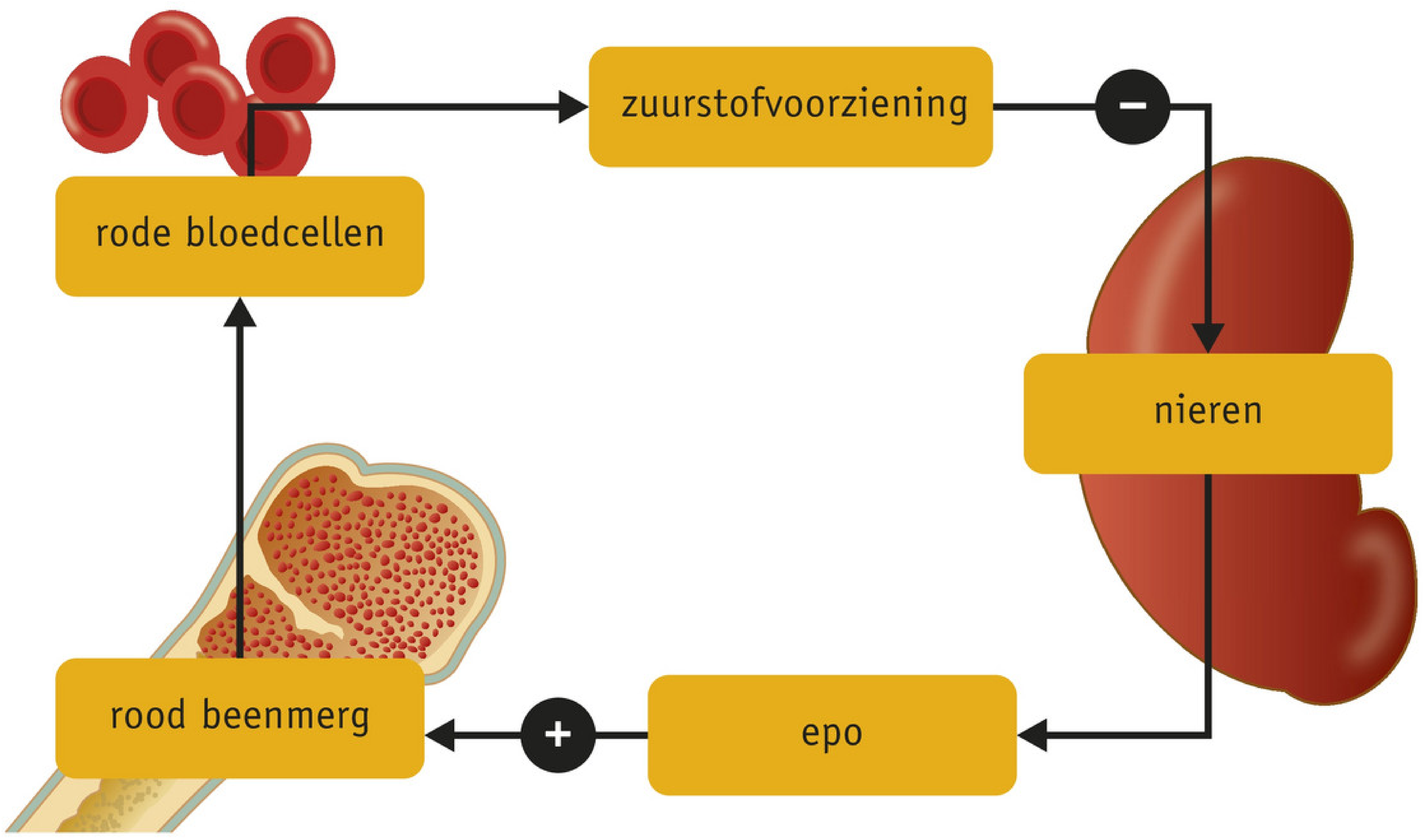
▶ **Afb. 40** Het ontstaan van verschillende typen bloedcellen en bloedplaatjes (schematisch).



RODE BLOEDCELLEN

Rode bloedcellen hebben de vorm van kleine ronde schijfjes, die in het midden dunner zijn dan aan de rand. Ze hebben geen celkern. Ze leven daardoor betrekkelijk kort: gemiddeld slechts vier maanden. Voortdurend worden in het rode beenmerg uit de stamcellen nieuwe rode bloedcellen gevormd (ongeveer twee miljoen per seconde).
De aanmaak van rode bloedcellen in het rode beenmerg wordt gestimuleerd door het hormoon epo (erytropoëtine), dat wordt geproduceerd door de nieren. Afhankelijk van de zuurstofvoorziening produceren de nieren meer of minder epo (zie afbeelding 43).

▶ **Afb. 41** Regeling van de aanmaak van rode bloedcellen.



Rode bloedcellen bevatten **hemoglobine** (een eiwitmolecuul) dat de rode kleur aan het bloed geeft. Hemoglobine speelt een rol bij het transport van zuurstof en koolstofdioxide. Hemoglobine bevat ijzeratomen. Bij **bloedarmoede** bevat het bloed niet voldoende hemoglobine.
Dode rode bloedcellen worden afgebroken in het rode beenmerg, in de milt en in de lever. Het ijzer dat bij de afbraak vrijkomt, wordt weer benut bij de aanmaak van nieuwe rode bloedcellen.

opdracht

46 Rode bloedcellen zijn niet bolvormig, maar afgeplat en 'ingedeukt'.

a Welk voordeel heeft deze vorm voor het functioneren van de rode bloedcellen?

b Leg uit dat de wisselwerking tussen de aanmaak van rode bloedcellen en de productie van epo een voorbeeld is van negatieve terugkoppeling (zie afbeelding 41).

c Synthetische epo werd bij duursporten (vooral bij wielrennen) gebruikt als doping.
Verklaar het voordeel van het gebruik van epo voor duursporters.

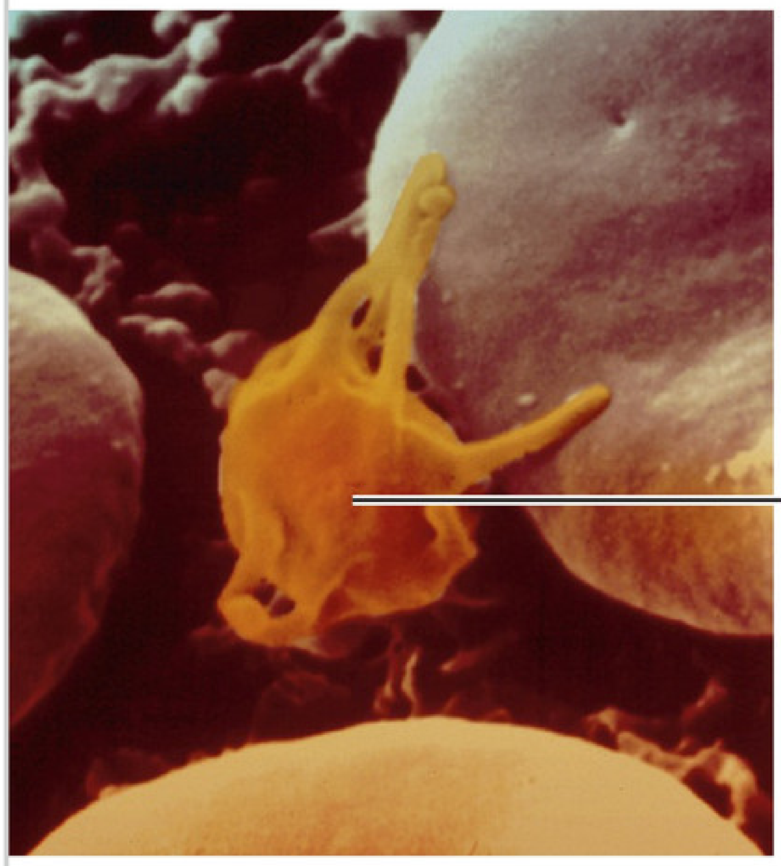
d Leg uit dat toediening van epo bij iemand met bloedarmoede niet zal helpen. Gebruik in je antwoord het begrip 'beperkende factor'.

BLOEDPLAATJES

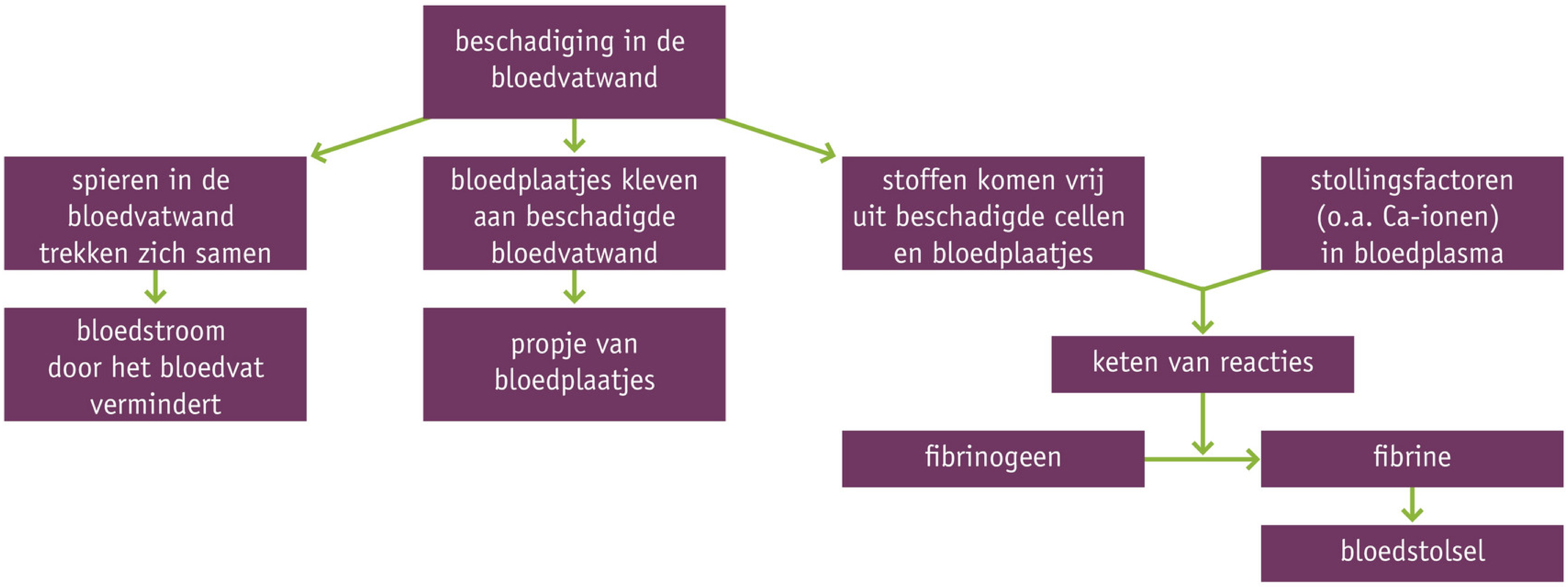
Bloedplaatjes zijn geen cellen, maar delen van uiteengevallen cellen (zie afbeelding 42). Ze vervullen een functie bij de **bloedstolling**, het proces waarbij bloed klontert en hard wordt.
In afbeelding 43 is weergegeven wat er gebeurt als een bloedvat stuk is gegaan. Op verschillende manieren wordt het bloedverlies tegengegaan en wordt de wond zo snel mogelijk gedicht:

– Spieren in de wand van het bloedvat trekken zich samen, waardoor het bloedvat nauwer wordt. Hierdoor stroomt er minder bloed door het beschadigde bloedvat.
– Aan de beschadigde bloedvatwand blijven bloedplaatjes vastkleven. Hierdoor ontstaat een propje van bloedplaatjes op de plaats van de wond.
– De bloedplaatjes gaan te gronde, waarbij stoffen uit de bloedplaatjes vrijkomen. Ook uit de beschadigde cellen van de bloedvatwand komen stoffen vrij. De vrijkomende stoffen brengen een keten van reacties op gang, die leidt tot het ontstaan van een bloedstolsel.

▼ **Afb. 42** Bloedplaatje tussen rode bloedcellen (SEM, vergroting 100 000×).



▼ **Afb. 43** Het proces van bloedstolling.

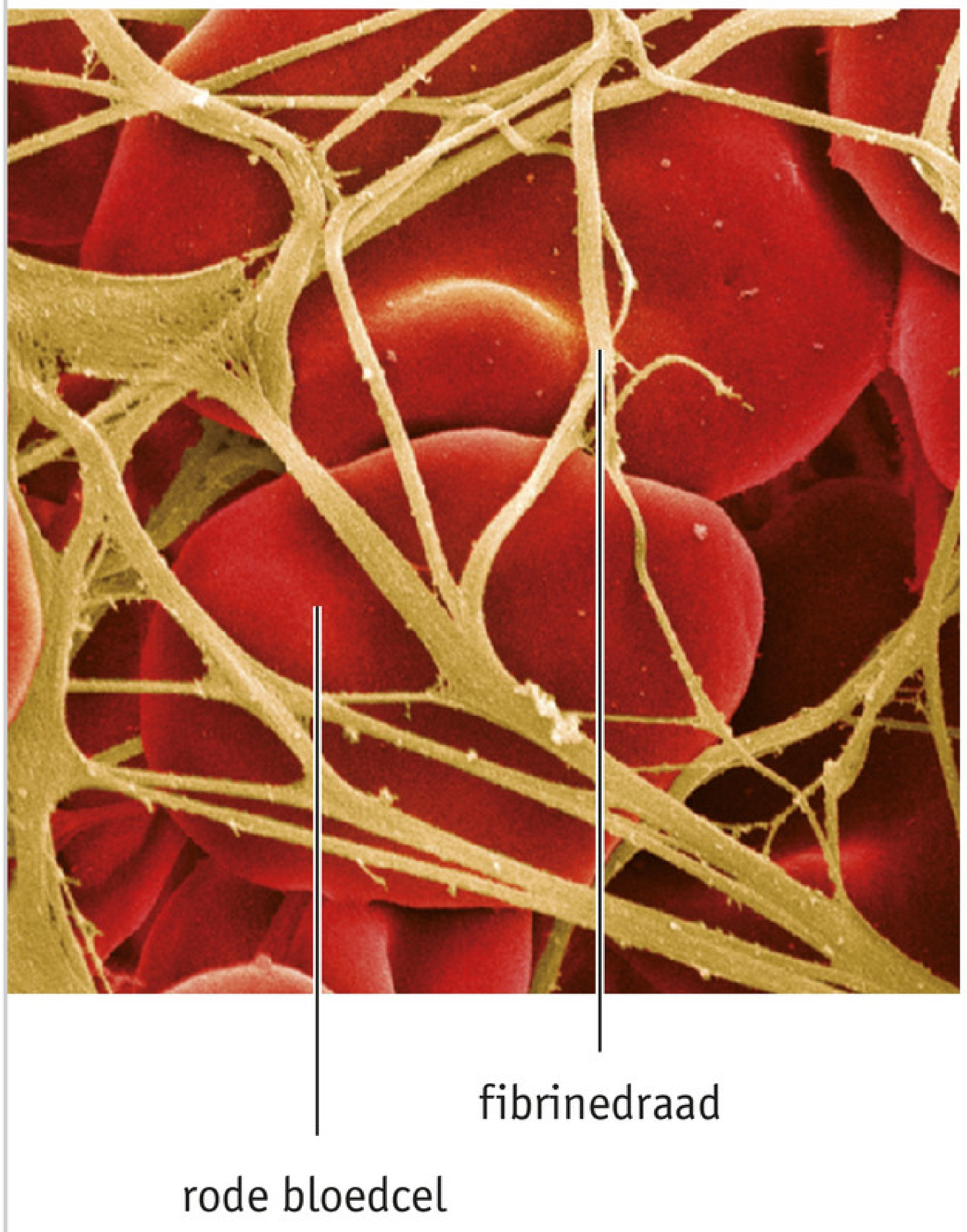


Bij de keten van reacties zijn ook stoffen in het bloedplasma betrokken: het plasma-eiwit **fibrinogeen** en **stollingsfactoren** (onder andere calciumionen). Veel stollingsfactoren worden in de lever gevormd. Hierbij is meestal vitamine K nodig. De keten van reacties leidt ertoe dat fibrinogeen uit het bloedplasma wordt omgezet in **fibrine**. Fibrine vormt een netwerk van draden, waartussen de bloedcellen blijven hangen. Een bloedstolsel begint zich te vormen (zie afbeelding 44).

Aan dit beginnende bloedstolsel blijven steeds meer bloedplaatjes kleven. Deze bloedplaatjes gaan ook te gronde, waardoor de stoffen uit de bloedplaatjes blijven vrijkomen. Het proces van bloedstolling blijft doorgaan tot het bloedstolsel de wond geheel afsluit.

Als het bloedstolsel is gevormd, trekken de fibrinedraden zich samen, waardoor de randen van de wond naar elkaar toe worden getrokken. Uit het stolsel wordt een vloeistof geperst: het **bloedserum**. Bloedserum is bloedplasma zonder fibrinogeen. Door verdere indroging ontstaat uit het bloedstolsel een korstje. Na verloop van tijd worden de fibrinedraden langzaam afgebroken. Het korstje laat dan los. De wond is intussen al genezen.

▼ **Afb. 44** Bloedstolsel.



WITTE BLOEDCELLEN

Witte bloedcellen zijn betrokken bij de afweer tegen ziekten. Ze hebben een celkern, maar geen vaste vorm. Daardoor kunnen ze door de wand van haarvaten heen. Uit de stamcellen in het rode beenmerg kunnen zich verschillende typen witte bloedcellen ontwikkelen. De meeste witte bloedcellen bestrijden bacteriën door deze in te sluiten. Als de witte bloedcellen hierbij zelf doodgaan, ontstaat etter of pus. Daarin komen vrijwel altijd ook nog levende bacteriën voor. Andere witte bloedcellen zorgen ervoor dat na een infectie de resten van dode cellen worden opgeruimd of antistoffen produceren.

▸▸ PRACTICUMOPDRACHT 5

opdrachten

47 Neem de tabel over en vul hem in.

	Rode bloedcellen	Witte bloedcellen	Bloedplaatjes
Wel of geen celkern			
Plaats(en) van vorming			
Functie(s)			

48 a Witte bloedcellen kunnen hun functie ook buiten de bloedvaten vervullen. Door welke eigenschap van de witte bloedcellen kan dat?

b Etter of pus ontstaat doordat er witte bloedcellen doodgaan bij het insluiten van bacteriën.
Waarom moet je voorzichtig zijn met etter of pus?

49 a Bij een harde stoot, bijvoorbeeld tegen de oogkas, komt er bloed tussen de weefselcellen. Door bloedstolling ontstaat een blauwe plek die later geel en groen wordt.
Welke stof wordt op de beschadigde plaats bij het stollen van het bloed gevormd?

b Bij bloederziekte (hemofilie) ontbreekt een bepaalde stollingsfactor in het bloed.
Leg uit waardoor bij iemand met bloederziekte het bloed niet goed stolt.

c Een blauw oog verkleurt doordat een bepaalde stof uit de rode bloedcellen wordt afgebroken.
Welke stof is dat?

d Een bloedstolsel verdwijnt na enige tijd, doordat bepaalde bloedbestanddelen het stolsel en de omringende cellen opruimen.
Welke bloedbestanddelen zijn dat?

e Bij mensen (en zoogdieren) komen voortdurend kleine inwendige bloedingen voor. Door bloedstolling stoppen deze bloedingen.
Sommige rattenverdelgingsmiddelen bevatten stoffen die bloedstolling tegengaan.
Welke gevolgen heeft het eten van zo'n verdelgingsmiddel voor een rat?

50 Een onderzoeker vult drie reageerbuizen met gelijke hoeveelheden vloeistof, afkomstig van dezelfde persoon. Buis 1 bevat bloed, buis 2 bloedplasma en buis 3 bloedserum. De buizen worden verhit totdat al het water is verdampt en er alleen droge stof overblijft.

a Welke buis bevat de grootste hoeveelheid droge stof? Leg je antwoord uit.

b Welke buis bevat de kleinste hoeveelheid droge stof? Leg je antwoord uit.

CONTEXT Wetenschap

Blauw bloed

▼ **Afb. 45** Blauw bloed uit degenkrabben.



Niet alle dieren hebben rood bloed. Het bloed van het hagedissengeslacht skink (*Prasinohaema*) op Nieuw-Guinea is groen door galkleurstof. De ruim dertig soorten krokodilijsvissen van de familie *Channichthyidae* hebben kleurloos (transparant) bloed. Het gemis aan hemoglobine wordt gecompenseerd door een groter hart, meer bloed, een dichter bloedvatennetwerk en het ontbreken van schubben. In het ijskoude water rond de Zuidpool lost zuurstof goed op.
Het bloed van inktvissen en degenkrabben (*Limulus polyphemus*) is blauw. Dat komt door de in het plasma opgeloste kleurstof hemocyanine. In plaats van ijzer zit er koper in dit zuurstofbindend eiwit. Degenkrabbloed wordt op grote schaal gebruikt voor de controle van medische apparatuur op besmetting met bacteriën. Het bloed bevat namelijk een stof die reageert op bacteriën en daarbij een bloedprop vormt. Daarvoor wordt jaarlijks bij zo'n half miljoen krabben bloed afgetapt (zie afbeelding 45). Na deze 'blauwbloeddonatie' worden de krabben weer teruggezet in de natuur.
Ook bij mensen komen trouwens families voor met blauw bloed. Maar bij donatie is dit bloed gewoon rood.

opdrachten

51 In de tekst worden verschillende niveaus van ordening genoemd.
- **a** Rangschik de niveaus familie, geslacht en soort in de juiste volgorde van klein naar groot.
- **b** Tot welk geslacht behoort de degenkrab?

52 Verschillende stoffen geven kleur aan het bloed.
- **a** Welke drie kleurstoffen veroorzaken de rode, blauwe en groene bloedkleur?
- **b** Wat is de functie van de rode en de blauwe stof in bloed?
- **c** IJsvissen hebben nauwelijks kleurstof in hun bloed. Hun bloed is transparant.
 Noem twee redenen waarom de antarctische ijsvissen geen zuurstofbindend eiwit nodig hebben.
- **d** De ijsvis heeft aanpassingen zoals een relatief groot hart, een dicht haarvatennetwerk en een dicht bloedvatennetwerk.
 In welke situatie zijn deze aanpassingen vooral van belang?
- **e** Het ontbreken van schubben kan ook helpen bij de zuurstofvoorziening van de ijsvis. Leg dat uit.

53
- **a** Medische gebruiksapparatuur wordt gecontroleerd op besmetting met bacteriën.
 Leg uit dat dit belangrijk is.
- **b** In het blauwe bloed van de degenkrab bevinden zich amoebocyten die bacteriën efficiënt onschadelijk maken.
 Met welke cellen in het bloed van mensen komen deze amoebocyten overeen?
- **c** Verklaar dat van bepaalde mensen wordt gezegd dat ze 'blauw bloed' hebben.

Leerdoel
- Je kunt de kenmerken en functies van weefselvloeistof en lymfe noemen.

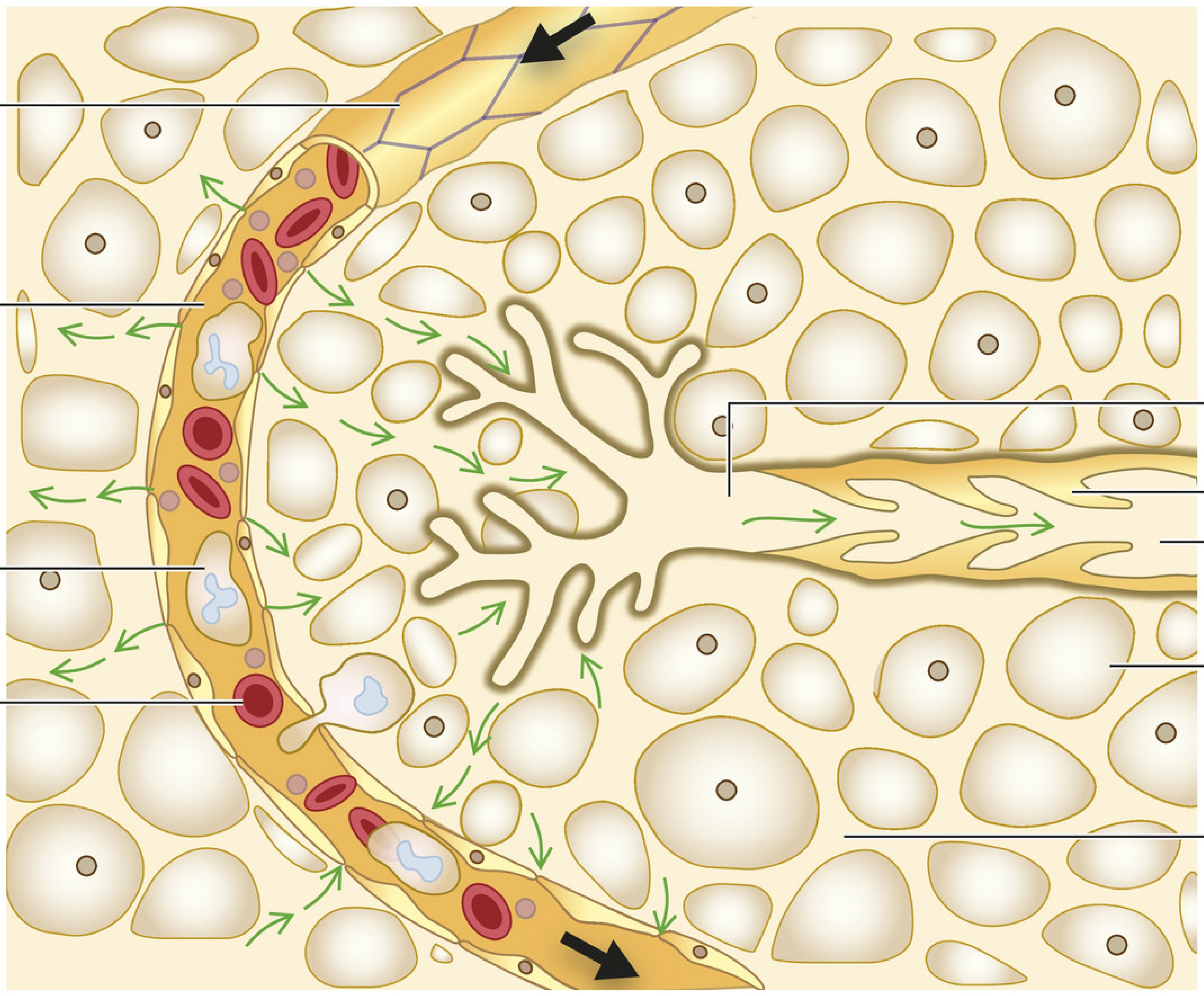
5 Weefselvloeistof en lymfe

Door nauwe bloedvaatjes doorkruist het bloed de weefsels. Plasma met opgeloste stoffen vloeit door gaatjes in de haarvatwand naar de weefselcellen. Door een doolhof van celtussenruimten slalomt de weefselvloeistof terug naar een haarvat of naar een 'afvoerputje'.

AANVOER VAN WEEFSELVLOEISTOF

Aan het begin van een haarvat is de bloeddruk hoger dan de druk in het omliggende weefsel. Hierdoor wordt een deel van het bloedplasma naar buiten geperst. Dit vocht bevat onder andere zuurstof, voedingsstoffen, hormonen en kleine plasma-eiwitten (onder andere antistoffen). Eenmaal in het weefsel buiten de haarvaten wordt dit vocht **weefselvloeistof** genoemd. Ook witte bloedcellen kunnen de haarvaten verlaten en in weefselvloeistof voorkomen. Rode bloedcellen en grote plasma-eiwitten kunnen de haarvaten niet verlaten.
Weefselvloeistof bevindt zich tussen de cellen van de weefsels (zie afbeelding 46). Cellen nemen door diffusie voedingsstoffen en zuurstof op uit de langsstromende weefselvloeistof. Koolstofdioxide diffundeert in tegengestelde richting. Ook door actief transport nemen cellen via de celmembranen voedingsstoffen op vanuit de weefselvloeistof.

▼ **Afb. 46** Stroming van vloeistof tussen haarvat, weefsel en lymfevat (schematisch).



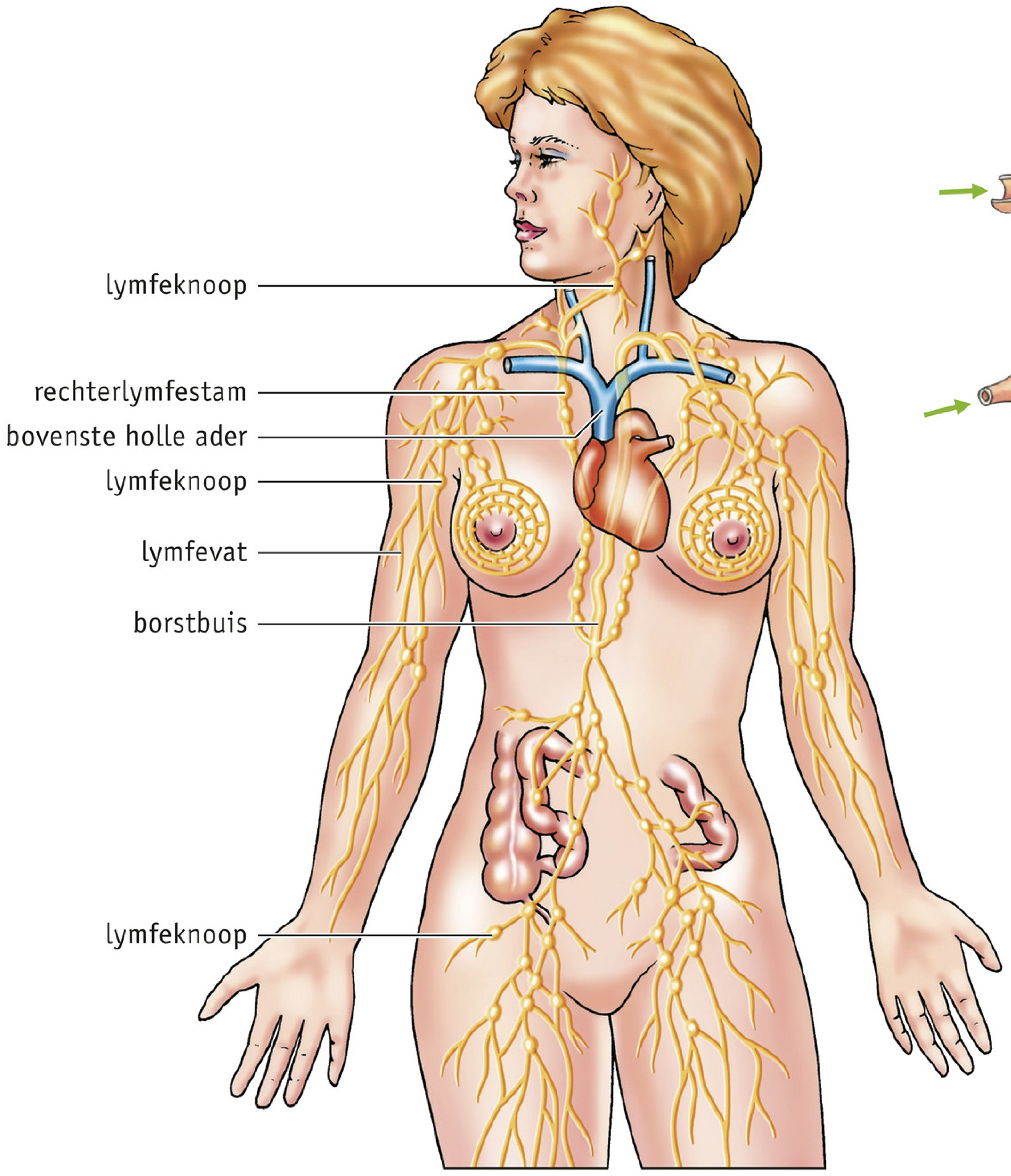
AFVOER VAN WEEFSELVLOEISTOF

De wand van een haarvat is doorlaatbaar voor water en opgeloste stoffen met kleine moleculen. Doordat grote eiwitmoleculen de haarvaten niet kunnen verlaten, is de osmotische waarde van het bloedplasma hoger dan die van de weefselvloeistof.
Aan het begin van de haarvaten is de bloeddruk zó hoog dat plasma uit de haarvaten treedt. Aan het eind van de haarvaten is de bloeddruk sterk gedaald.

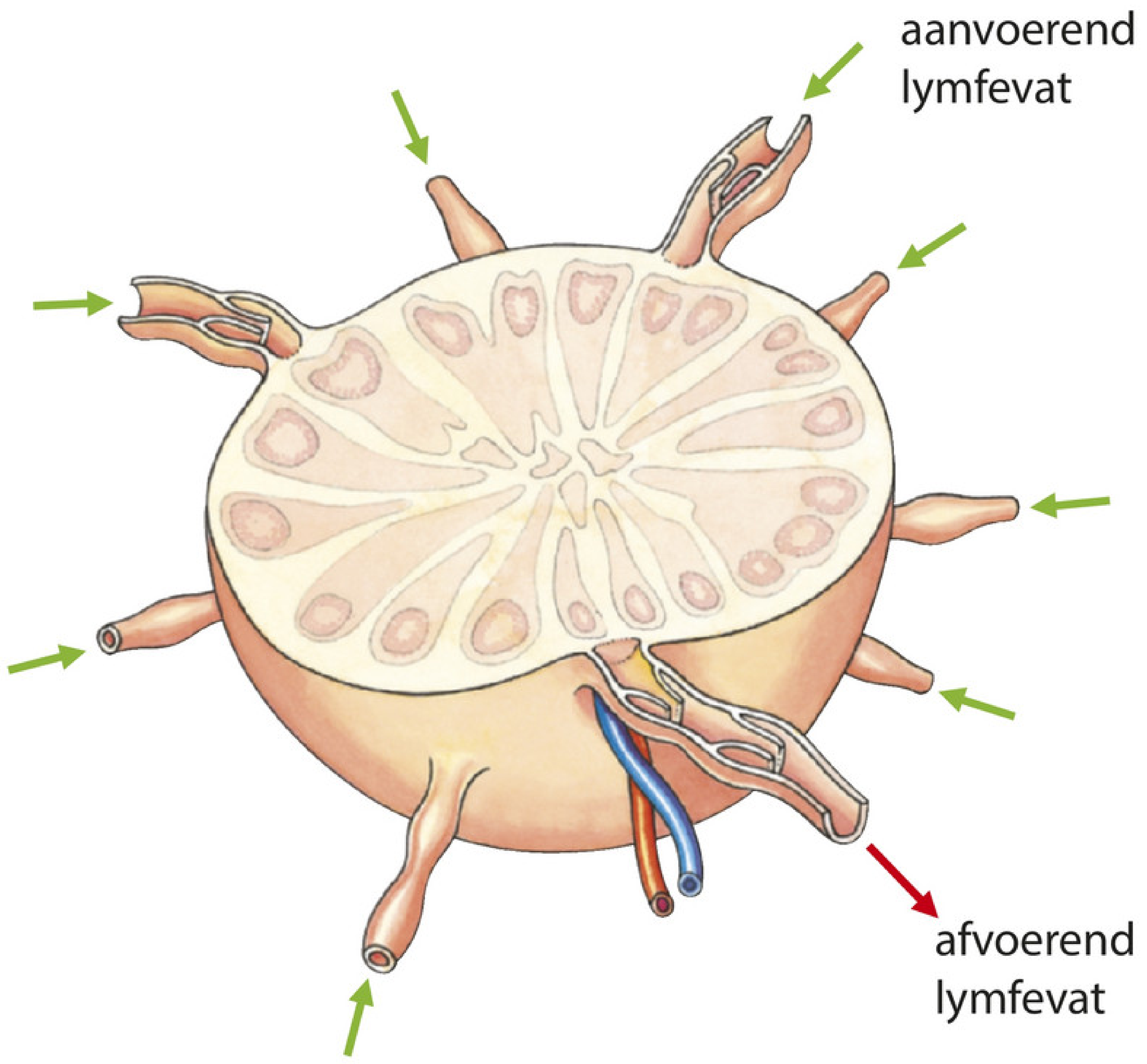
Door de lagere bloeddruk en de hogere osmotische waarde van het bloedplasma wordt aan het eind van de haarvaten weefselvloeistof in de haarvaten opgenomen. Dit vocht bevat onder andere koolstofdioxide en andere afvalstoffen, die door de cellen zijn geproduceerd.

Niet al het uitgetreden vocht komt op deze manier terug in de haarvaten. Overtollige weefselvloeistof wordt opgenomen in fijne **lymfevaten** en wordt dan **lymfe** genoemd. Lymfe bevat onder andere koolstofdioxide en andere afvalstoffen, hormonen, antistoffen en een deel van de zuurstof en voedingsstoffen die niet door de cellen zijn opgenomen. In lymfe kunnen ook witte bloedcellen voorkomen. Kleppen in de lymfevaten zorgen ervoor dat de lymfe maar in één richting stroomt (zie afbeelding 46). Samentrekkingen van spieren die vlak bij een lymfevat liggen, zorgen voor de stroming van lymfe.
De lymfevaten maken deel uit van het **lymfesysteem** (zie afbeelding 47). De fijne lymfevaten verenigen zich tot grotere lymfevaten. Uiteindelijk komt alle lymfe terecht in twee grote lymfevaten: de **rechterlymfestam** en de **borstbuis**. Deze twee lymfevaten monden beide uit in aders die onder de sleutelbeenderen liggen. In het lymfesysteem liggen **lymfeknopen** (**lymfeklieren**), onder andere in de hals, de oksels en de liezen (zie afbeelding 47 en 48). In de lymfeknopen bevinden zich lymfocyten (een type witte bloedcel) en wordt de lymfe gezuiverd van onder andere ziekteverwekkers.

▼ **Afb. 47** Het lymfesysteem.



▼ **Afb. 48** Lymfeknoop (schematische doorsnede).



▼ **Afb. 49** Oedeem.



Bij een **oedeem** hoopt weefselvloeistof zich op in de weefsels (zie afbeelding 49). Dit kan verschillende oorzaken hebben. Na een infectie bijvoorbeeld kan door het afsterven van cellen de concentratie eiwitten in de weefselvloeistof stijgen. De eiwitconcentratie in het bloed kan ook te laag zijn. Door infectie met parasieten kunnen de lymfevaten verstopt raken. Ten slotte kan ook een te hoge bloeddruk oedeem veroorzaken.

opdrachten

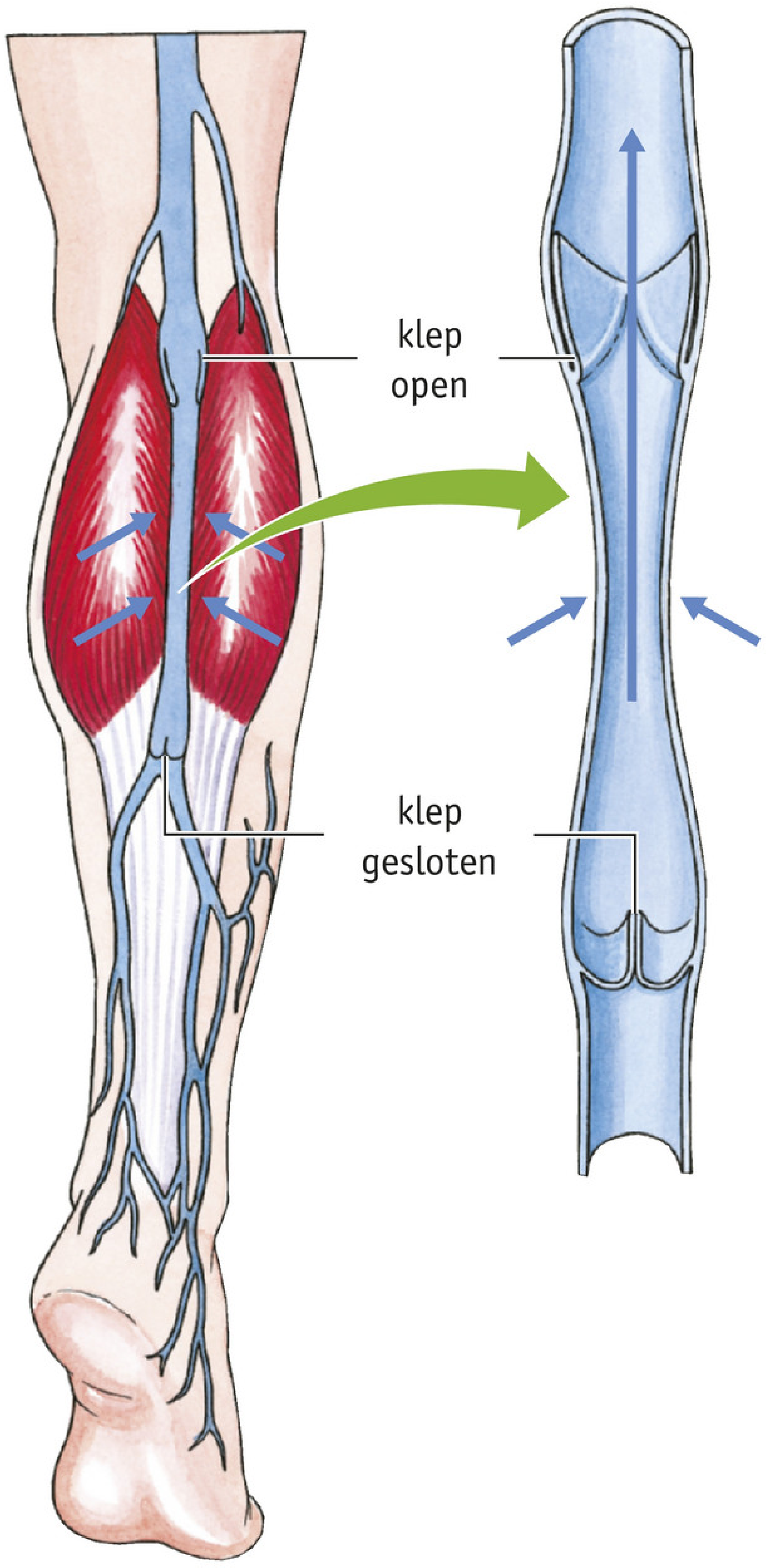
54 De benaming van lichaamsvocht wordt bepaald door de plaats waar het zich bevindt.
Iemand die een lange wandeling maakt op slecht passende schoenen, loopt de kans blaren te krijgen. In een blaar bevindt zich helder, kleurloos vocht.
- **a** Hoe heet het vocht dat zich in een blaar bevindt?
- **b** Kunnen in dit vocht bloedcellen voorkomen? Zo ja, welke?

55 De uitwisseling van vocht tussen bloedplasma en weefselvloeistof wordt bepaald door verschillende krachten.
- **a** Welke ‘kracht’ in het begin van de haarvaten veroorzaakt het uittreden van plasma?
- **b** Welke kracht verderop in de haarvaten veroorzaakt het terugstromen van weefselvloeistof in de haarvaten?
- **c** Bij een experiment laat men de bloeddruk in een bepaald haarvat plotseling toenemen.
Hoe verandert daardoor de hoeveelheid vocht die uit dit haarvat treedt?
- **d** Hoe verandert het verschil in osmotische waarde tussen de weefselvloeistof en het bloedplasma in dit haarvat hierdoor? Leg je antwoord uit.
- **e** In de longhaarvaten vindt vrijwel geen uittreden van vocht plaats.
Leg uit hoe dit komt en welk belang dit heeft.
- **f** Ondervoede kinderen hebben vaak opgezwollen buikjes. Deze kinderen lijden aan hongeroedeem, dat wordt veroorzaakt door een gebrek aan eiwitten in het voedsel.
Leg uit hoe het opzwellen van de buikjes ontstaat.

56 Een tatoeage verbleekt na een aantal jaren. Bij iemand met een tatoeage op de rechterarm ontstaat na enige jaren een donkere vlek in zijn rechteroksel. Leg uit waardoor de vlek ontstaat.

57 Bij mensen die lang stilzitten, kan vochtophoping plaatsvinden rond de enkels.
Verklaar met behulp van afbeelding 50 dat dit weefselvocht vaak verdwijnt door te wandelen.

▼ **Afb. 50** Vloeistofstroming in aders en lymfevaten (schematisch).



CONTEXT Beroep

Oedeemfysiotherapeut

▼ **Afb. 51** Dominique Apers.



Dominique Apers heeft de opleiding fysiotherapie gedaan aan de HZ University of Applied Sciences. Na een periode van waarnemen en een vast dienstverband begon hij een centrum voor fysiotherapie en wellness in Zeeuws-Vlaanderen. Hij werkt daar samen met andere fysiotherapeuten met specialisaties in onder andere oncologie, phystrac (carpaaltunnelsyndroom), shockwavetherapie, endermologie en neurologische ziektebeelden, zoals de ziekte van Parkinson en multiple sclerose. Een van de specialisaties is oedeemtherapie. Lymfoedeem ontstaat na beschadiging, verstopping of verwijdering van lymfeklieren. Bij de behandeling van lymfoedeem maakt Dominique onder meer gebruik van manuele lymfedrainage, oedeem- en fibrosegrepen, compressietherapie en bewegings- en ademhalingsoefeningen.
Dominique vindt het belangrijk om het niveau van de gezondheidszorg in de regio op peil te houden. Daarom heeft hij bijvoorbeeld allerlei apparaten voor de toepassing van specialistische therapieën aangeschaft en is hij mede-initiatiefnemer van verschillende samenwerkingsverbanden in de regio. Daarnaast is Dominique lid van het Koninklijk Nederlands Genootschap voor Fysiotherapie (KNGF) en aangesloten bij de Nederlandse Vereniging voor Fysiotherapie binnen de Lymfologie en Oncologie (NVFL).

opdrachten

58 a Lymfoedeem begint met een gevoel van spanning in de huid door de zwelling van bijvoorbeeld arm of been.
Leg uit dat oedeem gemakkelijk kan ontstaan in een arm of been.

b Vaak treedt lymfoedeem op na een ernstige beschadiging van de lymfevaten of lymfeklieren als gevolg van een operatie of bestraling (radiotherapie). Leg dat uit.

c Als oedeemfysiotherapeut maakt Dominique gebruik van verschillende technieken. Zoek op wat het effect is van de technieken manuele lymfedrainage, lymfetaping en oedeem- en fibrosegrepen.

59 Dominique is aangesloten bij verschillende beroepsorganisatie(s).

a Leg uit wat daarvan het belang is voor een beroepsbeoefenaar.

b Dominique volgde zijn opleiding aan de HZ University for Applied Sciences. Zoek op internet nog vier andere hbo-opleidingen rond beweging van de mens. Noteer bij elke studierichting wat je leert, welk(e) beroep(en) je daarna kunt uitoefenen en bij welk (soort) bedrijf je kunt gaan werken.

c Zou een opleiding tot fysiotherapeut iets voor jou kunnen zijn? Of een van de andere opleidingen rond beweging? Licht je antwoord toe.

Je hebt nu de basisstof van dit thema doorgewerkt.

- Controleer met het uitwerkingenboek of je de basisstofopdrachten goed hebt uitgevoerd.
- Je kunt nu verdergaan met de digitale oefentoets. Je kunt de samenvatting en flitskaarten gebruiken om je hierop voor te bereiden.
- Na de digitale oefentoets kun je de paragraaf Samenhang, de examentrainer en de verrijkingsstof doen.

Leerdoelen

– Je kunt het verschijnsel blozen toelichten voor verschillende organisatieniveaus van de biologie.
– Je kunt de biologische vakvaardigheden evolutionair denken, systeemdenken en vorm-functiedenken toepassen op het verschijnsel blozen.

Blozen maakt aantrekkelijk

In ongemakkelijke situaties kunnen kringspiertjes rondom zijtakjes van slagaders ontspannen, waardoor er plotseling meer bloed stroomt door de talrijke bloedvaatjes vlak onder de huid. Je wangen worden rood en je bloost. Die kringspiertjes in je wangen en hals worden aangestuurd door het autonome zenuwstelsel. Adrenerge receptoren van de spiercellen reageren op de afgifte van neurotransmitters.

Blozen komt alleen bij mensen voor. Charles Darwin vroeg zich al af wat de functie ervan is. Hij stuurde brieven naar collega's en missionarissen over de hele wereld om erachter te komen of blozen in alle culturen voorkomt. Hij concludeerde dat alle mensen schaamte kennen en dat we onze omgeving via het blozen ongewild op deze gevoelens wijzen. Bioloog en hoogleraar psychologie Frans de Waal stelt het zo: 'We zijn door de evolutie voorzien van een anatomie die het moeilijk maakt anderen voor de gek te houden.'

▶ **Afb. 1** Blozen.



De mens is een op samenwerking gerichte soort met een moreel bewustzijn. Door te blozen laat je iets van jezelf zien, zoals schaamte of verlegenheid. Blozen is daarmee een signaal dat iemand zich bewust is van normen en waarden en van anderen. Dat maakt blozende mensen tot betrouwbare en aantrekkelijke soortgenoten. Voor blozen hoef je je dus niet te schamen.

Degenen die de pech hebben om van nature niet te blozen, kunnen altijd nog een 'blush of rouge' aanbrengen om er blozender uit te zien.
Bron: De blozende aap, *Psychologie magazine* juli 2012, Frans de Waal.

opdrachten

1 Neem de tabel over en vul de begrippen in bij het juiste organisatieniveau. Kies uit: *adrenerge receptor – autonome zenuwstelsel – bloedvaatje – blozende mens – Charles Darwin – collega – kringspiertje – mensen – missionaris – neurotransmitter – slagader – soortgenoten – spiercel*.

Organisatie-niveau	Begrip
Biosfeer	
Ecosysteem	
Populatie	
Organisme	
Orgaanstelsel	
Orgaan	
Cel	
Molecuul	

2 **a** Van welk type vaten zijn de talrijke bloedvaatjes vlak onder de huid?
b Behoren de kringspiertjes tot het gladde of dwarsgestreepte spierweefsel?

3 Adrenerge receptoren zijn gevoelig voor adrenalineachtige stoffen.
a Hoe heten de stoffen die zorgen voor de overdracht van de impuls van de zenuwuiteinden naar de kringspiercellen?
b Welk effect heeft het vrijkomen van adrenaline op het lichaam?
c Wordt het ontspannen van de kringspiertjes veroorzaakt door het parasympathische of orthosympatische deel van het autonome zenuwstelsel?
d Welke andere functie kan het ontspannen van de kringspiertjes rondom haarvaatjes in de huid hebben voor je lichaam?
e Zal bij een schrikreactie (fright, fight, flight) en het vrijkomen van adrenaline meer of juist minder bloed naar de huid gaan?

4 **a** Leg uit dat blozen een handeling is die valt onder sociaal gedrag.
b Blozen is niet of nauwelijks te onderdrukken. Verklaar dat.
c Leg uit dat blozen de fitness van de blozer vergroot.
d Is blozen erfelijk of aangeleerd?
e Welk signaal wil iemand geven die een ‘blush of rouge’ aanbrengt op de jukbeenderen?

Practica

practicumopdracht 1

Bouw van een stengel en een wortel

BASISSTOF 1

MATERIAAL
- klaargemaakte preparaten van een dwarsdoorsnede van de stengel en van een dwarsdoorsnede van een jonge wortel van een boterbloem of andere kruidachtige plant
- een microscoop
- tekenmateriaal

In deze practicumopdracht bekijk en teken je een dwarsdoorsnede van een stengel van een kruidachtige plant en de dwarsdoorsnede van een wortel.
Je gebruikt een klaargemaakt preparaat van een boterbloem of andere kruidachtige plant.

METHODE
- Bekijk de preparaten eerst bij een vergroting van 100×.
- Maak een schematische overzichtstekening van een deel van de dwarsdoorsnede van de stengel, waarin dekweefsel (epidermis of opperhuid), vaatweefsel en vulweefsel te zien zijn. Benoem de delen.
- Bekijk de vaatbundels van de stengel bij een vergroting van 400× en maak hier een tekening van. Geef in je tekening bastvaten, houtvaten en vulweefsel aan.
- Bekijk het wortelpreparaat bij een vergroting van 40×. Maak een schematische overzichtstekening en zet de namen bij de delen.
- Bekijk de centrale cilinder van de wortel bij een vergroting van 100× en maak er een tekening van. Zet de namen bij de delen.

RESULTAAT
- Een overzichtstekening van de stengel waarin de epidermis, vaatbundels en vulweefsel zijn aangegeven en een detailtekening van de stengel waarin de bastvaten, houtvaten en vulweefsel zijn aangegeven.
- Een overzichtstekening van de wortel met daarin aangegeven: cambium, centrale cilinder, endodermis, epidermis (opperhuid) en een detailtekening van de centrale cilinder van de wortel waarin houtvaten en bastvaten zijn aangegeven.

practicumopdracht 2

Bouw van een zoogdierhart

BASISSTOF 2

MATERIAAL
- een vers hart van een schaap of varken met daaraan delen van aansluitende bloedvaten
- prepareermateriaal, waaronder een snijbord, glasstaaf en scalpel
- tekenbenodigdheden

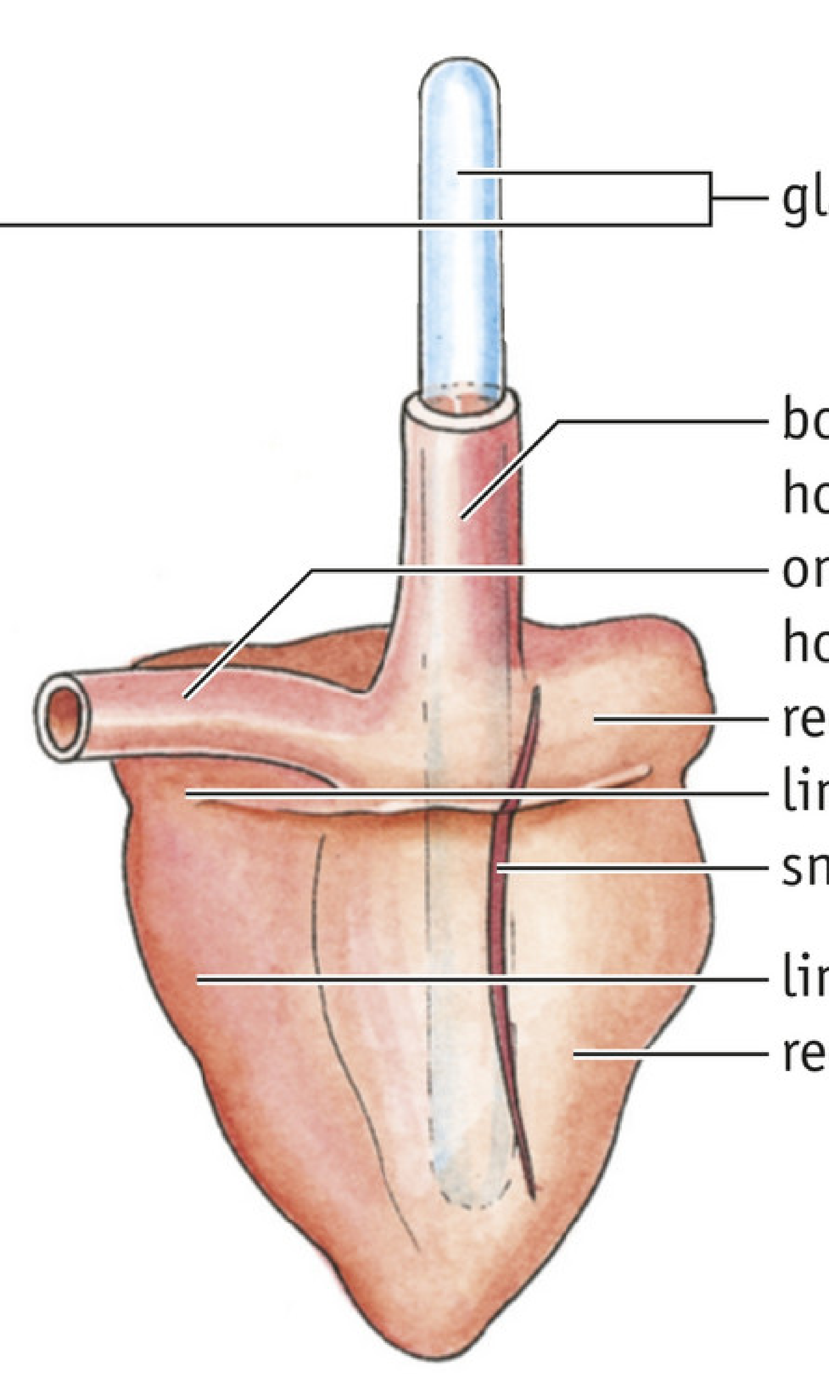
De bouw van een zoogdierhart heeft veel overeenkomsten met de bouw van een mensenhart. In deze practicumopdracht onderzoek je de uitwendige en inwendige bouw van een zoogdierhart.

METHODE
- Verwijder zo nodig het vet rondom het hart.
- Maak een tekening van het buitenaanzicht van de voorzijde van het hart. Noteer de namen van de hartdelen en de bloedvaten.
- Plaats de glasstaaf door de aorta tot in het onderste puntje van de linkerkamer. Snijd langs deze lijn voorzichtig de aorta, de linkerboezem en de linkerkamer open (zie afbeelding 1).
- Maak een tekening van de binnenzijde van het linkergedeelte van het hart. Noteer de namen van de hartdelen en de bloedvaten.
- Keer het hart om, zodat je de achterkant van het hart kunt zien. Plaats de glasstaaf door de bovenste holle ader tot in het onderste deel van de rechterkamer. Snijd langs de staaf voorzichtig de bovenste holle ader, de rechterboezem en de rechterkamer open.
- Maak een tekening van de binnenzijde van het rechter gedeelte van het hart. Noteer de namen van de hartdelen en de bloedvaten.

RESULTAAT

Tekeningen met namen van het buitenaanzicht en van de binnenzijde van het linker- en het rechtergedeelte van het hart.

▶ **Afb. 1** Buitenaanzichten van het hart met sneden (schematisch).



practicumopdracht 3

De hartslagfrequentie bepalen

▸▸ BASISSTOF 2

MATERIAAL

– een klok of horloge met secondeaanduiding

De hartslag veroorzaakt een drukgolf die op verschillende plaatsen in het lichaam voelbaar is, bijvoorbeeld in de hals en bij de pols. Verpleegkundigen bepalen het hartritme bij cliënten meestal aan de hand van de polsslag. In deze practicumopdracht voer je dit bij jezelf of bij een medeleerling uit.

METHODE

- Leg je arm ontspannen op tafel.
- Plaats de vingertoppen van de wijs-, middel- en ringvinger met lichte druk op de polsslagader, 2 tot 3 cm onder het polsgewricht in het verlengde van de duim (zie afbeelding 2).
- Zorg ervoor dat je het kloppen van de slagader voelt.
- Tel gedurende 15 seconden het aantal polsslagen.
- Vermenigvuldig de uitkomst met 4. Noteer de uitslag (in slagen per minuut) en eventuele bijzonderheden.
- Herhaal de bepaling nadat je (of de proefpersoon) tien diepe kniebuigingen hebt gedaan.

▼ **Afb. 2** Plaatsing van de vingertoppen aan de pols.



RESULTAAT

Een meting van de hartslagfrequentie in rust en een meting van de hartslagfrequentie na inspanning.

practicumopdracht 4

Bouw van slagaders en aders

BASISSTOF 3

MATERIAAL
- een klaargemaakt preparaat met dwarsdoorsneden van slagader en ader
- een microscoop

Slagaders en aders hebben verschillende functies. In deze practicumopdracht onderzoek je de bouw van de wand van deze bloedvaten.

METHODE
- Bekijk het preparaat bij een vergroting van 50×. Zoek in het preparaat naar een slagader en een ader.
- Maak een tekening van de wand van een slagader. Geef de laag glad spierweefsel aan.
- Maak ook een tekening van de wand van een ader.

RESULTAAT

Tekeningen van de wanden van een slagader en van een ader.

practicumopdracht 5

Bloedcellen

BASISSTOF 4

MATERIAAL
- een klaargemaakt preparaat van bloed (gekleurd)
- een microscoop

Bloed bestaat uit plasma en cellen en delen van cellen. Cellen en celdelen zijn herkenbaar aan hun vorm en de dichtheid. In deze practicumopdracht onderzoek je bloedcellen.

METHODE
- Bekijk het preparaat bij een vergroting van 100×. De rode bloedcellen liggen vaak in ‘geldrolletjes’. Bij de witte bloedcellen kunnen de kernen er verschillend uitzien.
- Bekijk het preparaat bij een vergroting van 400×. Soms kun je ook bloedplaatjes als stippen zien liggen.
- Maak tekeningen van enkele rode bloedcellen, van witte bloedcellen (zo mogelijk met verschillende typen kernen) en van bloedplaatjes (als je die hebt gezien).

RESULTAAT

Tekeningen van rode bloedcellen, witte bloedcellen en eventueel bloedplaatjes.

Samenvatting

LEERDOEL 1 BASISSTOF 1

Je kunt beschrijven hoe opname, transport en afgifte van water met daarin opgeloste stoffen plaatsvindt in planten.

- Transport over kleine afstanden door diffusie.
- Transport over grote afstanden:
 - anorganische (opwaartse) sapstroom door houtvaten (mineralen opgelost in water);
 - organische sapstroom door bastvaten (assimilatieproducten opgelost in water).
- Transport door houtvaten dankzij drie krachten:
 - Worteldruk ontstaat door actief transport door endodermiscellen en osmotische werking van mineralen in de houtvaten.
 - Door capillaire werking van de houtvaten wordt het water omhooggetrokken.
 - Door verdamping van water wordt water aangezogen uit de houtvaten (via de nerven).
- Transport door bastvaten.
 - Bastvaten vervoeren water en assimilatieproducten vanuit de bladeren naar alle delen van de plant.
 - In de vaatbundels in stengels liggen bastvaten aan de buitenkant, in de nerven in bladeren aan de onderkant.

LEERDOEL 2 BASISSTOF 1

Je kunt verschillende circulatiesystemen herkennen en de functies van een bloedsomloop benoemen.

- Bouw van transportsystemen:
 - Eencelligen en dieren die uit enkele cellagen bestaan, kennen alleen transport door diffusie.
 - Grotere dieren: open of gesloten circulatiesysteem.
 - Bij bloedvatenstelsels worden lichaamsvloeistof en bloedplasma onderscheiden.
 - Bloedsomloop: enkel of dubbel, een of meer harten.
- Circulatiesystemen zorgen voor een homogeen intern milieu door:
 - het transport van stoffen tussen intern en extern milieu (o.a. bouw-, brand- en afvalstoffen);
 - het transport van signaalstoffen (hormonen) tussen delen van het organisme;
 - het transport van bestanddelen van het afweersysteem;
 - verdeling van warmte over het lichaam.

LEERDOEL 3 BASISSTOF 2

Je kunt de delen van een hart noemen met hun functies en kenmerken.

- Rechterboezem:
 - ontvangt zuurstofarm bloed uit de onderste en bovenste holle ader en voert dit door naar de rechterkamer;
 - weinig gespierde wand.
- Rechterkamer:
 - pompt zuurstofarm bloed in de longslagader(s);
 - gespierde wand.
- Linkerboezem:
 - ontvangt zuurstofrijk bloed uit de longaders en voert dit door naar de linkerkamer;
 - weinig gespierde wand.
- Linkerkamer:
 - pompt zuurstofrijk bloed in de aorta;
 - zeer gespierde wand.
- Harttussenwand: scheidt de linker- en rechterharthelft.
- Hartkleppen: verhinderen terugstromen van bloed van kamers naar boezems.
- Halvemaanvormige kleppen: verhinderen het terugstromen van bloed van longslagader(s) en aorta naar de kamers.
- Kransslagaders: hierdoor stroomt zuurstofrijk bloed naar de hartspier.
- Kransaders: hierdoor stroomt zuurstofarm bloed weg uit de hartspier.

LEERDOEL 4 BASISSTOF 2

Je kunt de werking van het hart beschrijven.

- Samentrekking (systole) van de boezems.
 - De sinusknoop in de wand van de rechterboezem geeft impulsen af.
 - Spieren in de wand van de boezems trekken zich samen. De kamers ontspannen (diastole).
 - De hartkleppen zijn open, de halvemaanvormige kleppen dicht.
 - Bloed stroomt van de boezems naar de kamers.
- Samentrekking (systole) van de kamers.
 - Spieren in de wand van de kamers trekken zich samen. De boezems ontspannen (diastole).
 - Bloed stroomt van de kamers naar de longslagader(s) en de aorta.
 - De hartkleppen slaan dicht, de halvemaanvormige kleppen gaan open.
 - Spieren trekken zich samen en verhinderen dat de hartkleppen doorslaan.
- Hartpauze.
 - De boezems en de kamers ontspannen (diastole).
 - De hartkleppen zijn geopend, de halvemaanvormige kleppen zijn gesloten.
 - Bloed stroomt uit de holle aders en de longaders naar de boezems en kamers.
- Hartslagfrequentie (hartritme): de frequentie waarmee de sinusknoop impulsen afgeeft.
 - De hartslagfrequentie wordt beïnvloed door de bloeddruk en door hormonen (o.a. adrenaline).
 - De hartslagfrequentie is o.a. afhankelijk van de lichaamsgrootte en de activiteit van het organisme.

- Slagvolume: de hoeveelheid bloed die per hartslag door de linkerkamer in de aorta wordt gepompt.
 - Het slagvolume hangt af van de hoeveelheid bloed die uit de holle aders de rechterboezem instroomt.
 - De linkerkamer pompt per hartslag ongeveer even veel bloed weg als de rechterkamer.

LEERDOEL 5 ▶▶ BASISSTOF 3

Je kent de functies en kenmerken van aders, slagaders en haarvaten.

- Slagaders:
 - hierdoor stroomt bloed weg van het hart;
 - ‘slag’ merkbaar, o.a. in de polsen;
 - hoge bloeddruk;
 - dikke, stevige en elastische wand;
 - meestal diep in het lichaam gelegen;
 - alleen halvemaanvormige kleppen (aan het begin van longslagader en aorta).
- Haarvaten:
 - wand van één cellaag dik;
 - vocht met opgeloste stoffen en witte bloedcellen kunnen door de wand heen de haarvaten verlaten.
- Aders:
 - hierdoor stroomt bloed naar het hart toe;
 - lage bloeddruk;
 - geen ‘slag’ merkbaar;
 - dunne wand;
 - meestal ondiep in het lichaam gelegen;
 - kleppen verhinderen dat het bloed terugstroomt (vooral in de armen en benen).

LEERDOEL 6 ▶▶ BASISSTOF 3

Je kunt de delen van het bloedvatenstelsel noemen en daarin zuurstofgehalte, glucosegehalte en stroomrichting van het bloed aangeven.

- Dubbele bloedsomloop: per omloop stroomt het bloed twee keer door het hart.
 - Kleine bloedsomloop: rechterkamer – longslagaders – longhaarvaten – longaders – linkerboezem.
 - Grote bloedsomloop: linkerkamer – aorta – slagaders – haarvaten in de organen – aders – onderste of bovenste holle ader – rechterboezem.
- Zuurstofgehalte van het bloed.
 - Door de slagaders van de kleine bloedsomloop stroomt zuurstofarm bloed.
 - Door de aders van de kleine bloedsomloop stroomt zuurstofrijk bloed.
 - Door de slagaders van de grote bloedsomloop stroomt zuurstofrijk bloed.
 - Door de aders van de grote bloedsomloop (o.a. de poortader) stroomt zuurstofarm bloed.
- Glucosegehalte van het bloed.
 - In de poortader zijn de schommelingen het grootst.
 - Van de overige bloedvaten is het glucosegehalte van het bloed in de leverader na vasten het hoogst.
 - Waar het bloed uit de leverader wordt gemengd met bloed afkomstig van andere organen, daalt het glucosegehalte van het bloed.

LEERDOEL 7 ▶▶ BASISSTOF 3

Je kunt het verloop van de bloeddruk in de bloedvaten beschrijven.

- Van slagaders naar aders neemt de bloeddruk voortdurend af.
 - De bloeddruk is het hoogst in de linkerkamer en de aorta tijdens het samentrekken van de kamers.
 - In de slagaders gaat de bloeddruk sterk op en neer als gevolg van de hartslag.
 - In de aders is de bloeddruk vaak te laag om de bloedstroom op gang te houden.
- In de aders helpen andere krachten mee om de bloedstroom op gang te houden:
 - de stootsgewijze druk van slagaders die naast de aders liggen;
 - de samentrekking van skeletspieren.
- De bloeddruk wordt min of meer constant gehouden door aanpassing van het hartritme (negatieve terugkoppeling).
 - Als de bloeddruk onder de normwaarde daalt, zorgt de hersenstam ervoor dat het hartritme stijgt. Hierdoor stijgt de bloeddruk.
 - Als de bloeddruk boven de normwaarde stijgt, zorgt de hersenstam ervoor dat het hartritme daalt. Hierdoor daalt de bloeddruk.
 - De bloeddruk kan zijn verhoogd doordat aan de binnenwand van slagaders cholesterol is afgezet.
- Bloeddrukmeting: de bovendruk en de onderdruk.
 - De bovendruk ontstaat door de samentrekking van de kamers.
 - De onderdruk is de druk tijdens de hartpauze.
- De stroomsnelheid van het bloed is het grootst in de aorta en het laagst in de haarvaten.
- Hartinfarct:
 - Een of meer vertakkingen van een kransslagader raken verstopt (door slagaderverkalking).
 - Daardoor krijgt een deel van de hartspier geen zuurstof en voedingsstoffen meer en sterft af.

LEERDOEL 8 ▶▶ BASISSTOF 4

Je kunt de bestanddelen van bloed noemen met hun kenmerken en functies.

- Bloedplasma: water met opgeloste stoffen en plasma-eiwitten (o.a. fibrinogeen).

 - Het bloedplasma vervoert zuurstof, voedingsstoffen (o.a. glucose), afvalstoffen (o.a. koolstofdioxide), signaalstoffen (o.a. hormonen) en beschermende stoffen (o.a. antistoffen).
 - Het bloedplasma houdt het interne milieu constant.
 - Veel plasma-eiwitten spelen een rol bij het transport van stoffen, de handhaving van de osmotische waarde van het bloed en de bloeddruk.
 - Fibrinogeen speelt een rol bij de bloedstolling.
 - Bloedserum is bloedplasma zonder fibrinogeen.
- Rode bloedcellen.
 - Cellen zonder kern (daardoor betrekkelijk korte levensduur).
 - Worden gevormd in het rode beenmerg uit stamcellen, onder invloed van het hormoon epo uit de nieren.
 - Worden afgebroken in het rode beenmerg, in de milt en in de lever.
 - Bevatten hemoglobine dat zuurstof kan binden.
 - Functie: transport van zuurstof.
- Bloedplaatjes.
 - Delen (zonder kern) van uiteengevallen cellen.
 - Worden gevormd in het rode beenmerg.
 - Functie: bloedstolling.
- Witte bloedcellen.
 - Cellen met kern.
 - Worden vooral gevormd in het rode beenmerg uit stamcellen.
 - Functie: ziekteverwekkers vernietigen en dode celresten opruimen.

LEERDOEL 9 ▶▶ BASISSTOF 4

Je kunt het proces van bloedstolling beschrijven en verklaren.

- Bloedplaatjes kleven aan de beschadigde bloedvatwand en vormen een bloedpropje.
 - Uit het beschadigde weefsel en uit de bloedplaatjes komen stoffen vrij.
 - Deze stoffen brengen met behulp van stollingsfactoren in het bloedplasma (o.a. calciumionen) een keten van reacties op gang.
 - Uiteindelijk leidt dit ertoe dat fibrinogeen wordt omgezet in fibrine.
- Fibrine vormt een netwerk van draden dat de wond afsluit (bloedstolsel).

LEERDOEL 10 ▶▶ BASISSTOF 5

Je kunt de kenmerken en functies van weefselvloeistof en lymfe noemen.

- Weefselvloeistof ontstaat doordat aan het begin van de haarvaten vocht uittreedt.
 - Plasma-eiwitten met relatief grote moleculen kunnen de haarvaten niet verlaten. Hierdoor ontstaat een osmotische druk van de weefselvloeistof naar het bloedplasma.
 - Aan het begin van de haarvaten is de bloeddruk hoger dan de osmotische druk, zodat vocht de haarvaten verlaat naar de weefsels toe.
 - Weefselvloeistof bevat o.a. zuurstof, voedingsstoffen, koolstofdioxide en andere afvalstoffen, hormonen en plasma-eiwitten met kleine moleculen. Weefselvloeistof kan witte bloedcellen bevatten.
 - Functie: zuurstof en voedingsstoffen naar de cellen toe voeren en koolstofdioxide en andere afvalstoffen van de cellen weg voeren.
- Een deel van de weefselvloeistof keert aan het eind van de haarvaten terug in het bloed.
 - Aan het eind van de haarvaten is de bloeddruk sterk gedaald. Doordat de osmotische druk vanuit de weefselvloeistof hier hoger is dan de bloeddruk wordt er weer vocht in de haarvaten opgenomen.
- Een deel van de weefselvloeistof wordt opgenomen in fijne lymfevaten.
 - Lymfevaten verenigen zich tot grotere lymfevaten. In de lymfevaten komen kleppen voor.
 - Het lymfesysteem voert de lymfe weer terug naar het bloedvatenstelsel.
 - Lymfeknopen (lymfeklieren) zuiveren de lymfe van o.a. ziekteverwekkers.

COMPETENTIES/VAARDIGHEDEN

Je hebt de volgende vaardigheden geoefend:

- doelgericht zoeken en selecteren van informatie;
- mondeling communiceren over natuurwetenschappelijke onderwerpen;
- toepassen van verschillende fasen van natuurwetenschappelijk onderzoek;
- geven van een beargumenteerde mening;
- herkennen/gebruiken van biologische en ethische argumenten;
- vorm-functiedenken op de niveaus van moleculen, cellen, weefsels, organen en organismen;
- verklaren van transport van stoffen op het niveau van weefsels, organen en organismen met behulp van evolutiemechanismen (evolutionair denken);
- met elkaar in verband brengen van transportsystemen op de niveaus van cellen, weefsels, organen en organismen (systeemdenken).

Examentrainer

VERPLEEGKUNDIGE (M/V) GEVRAAGD

Bron: examen havo 2015-1, vraag 1 tot en met 5.

Je solliciteert op de volgende vacature.

VACATURE
Verpleegkundige cardiologie/cardiochirurgie

Het werkveld
De verpleegafdeling cardiologie/cardiochirurgie telt 32 bedden en maakt onderdeel uit van het Hartcentrum. Er is nauwe samenwerking binnen het Hartcentrum. Cardiologie/cardiochirurgie is een dynamisch vakgebied waarin diagnostische en therapeutische ontwikkelingen nog steeds in volle gang zijn.

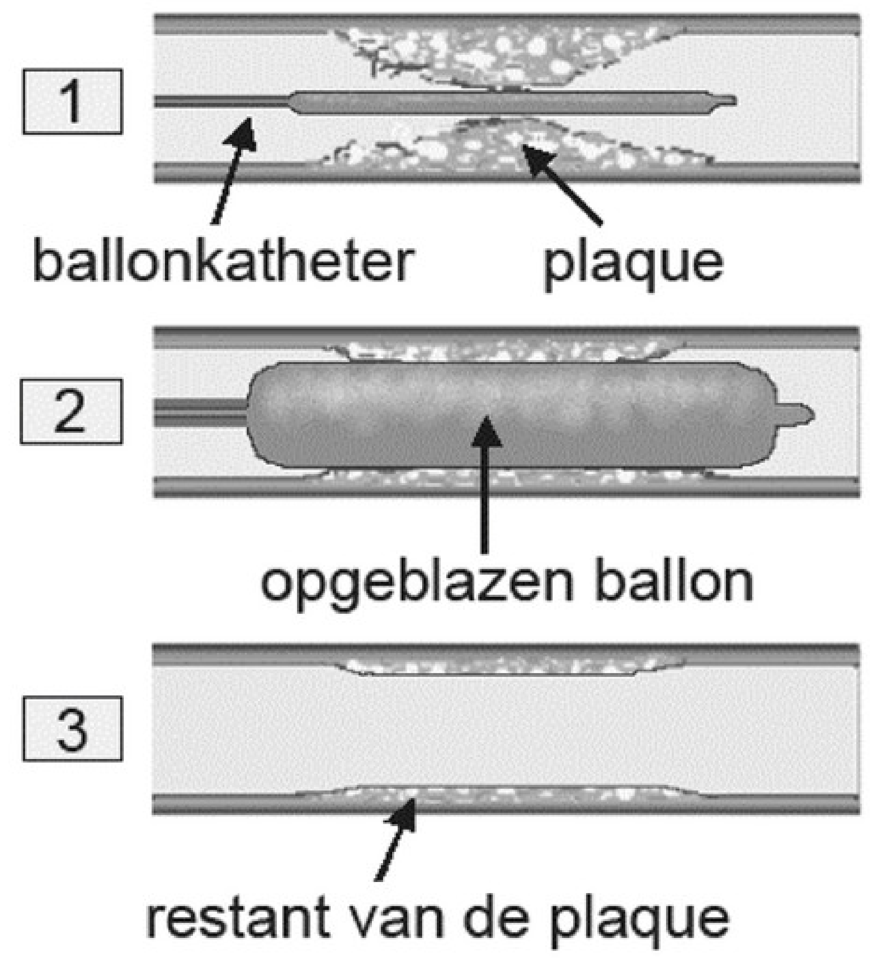
Jouw activiteiten
De specialistische zorg is vooral gericht op verpleegkundige handelingen bij patiënten met een hartinfarct, hartfalen of ritmestoornissen en rondom ingrepen zoals een bypass- of hartklepoperatie. Daarnaast ben je betrokken bij de coördinatie van de opnamen en niet onbelangrijk: de psychosociale begeleiding van patiënten. Vanzelfsprekend geef je informatie, voorlichting en advies aan patiënten en hun relaties. Door de combinatie van twee specialismen is dit een boeiende en enerverende werkplek.

Als verpleegkundige op deze afdeling is het van belang dat je op de hoogte bent van de oorzaken en behandelingen van de verschillende aandoeningen. Tijdens het sollicitatiegesprek krijg je de volgende casus voorgelegd: een patiënt die herstelt van een hartinfarct vraagt zich af waardoor dit infarct is opgetreden.

2p **1** – Schrijf het antwoord op dat je deze patiënt geeft, om hem uit te leggen door welke verandering in zijn hart dit infarct mogelijk is opgetreden.
– Noteer ook twee adviezen met betrekking tot leefgewoonten die kunnen bijdragen aan het voorkomen van een hartinfarct.

Een van de klachten die ertoe kan leiden dat iemand op de afdeling cardiologie terechtkomt, is angina pectoris (pijn op de borst). Deze pijn wordt veroorzaakt doordat bepaalde delen van het hart tijdelijk geen zuurstof krijgen. Indien dit op tijd wordt ontdekt, kan worden besloten om te dotteren (zie afbeelding 1).

▼ **Afb. 1** Dotteren in drie stappen.



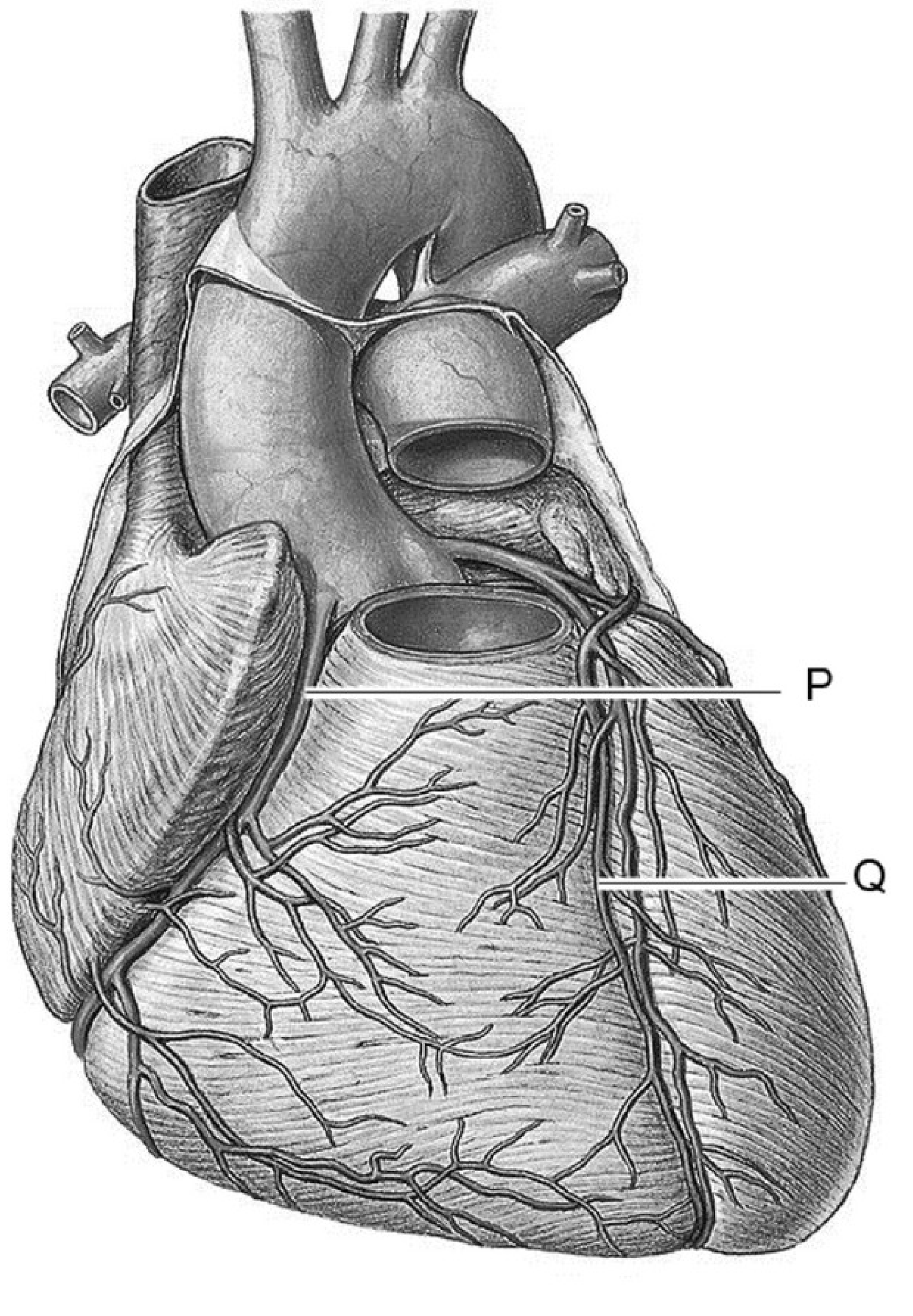
Bij deze methode wordt via een slagader van de arm of van de lies een katheter naar het hart gebracht. Door contrastvloeistof in de bloedvaten te brengen, kan de cardioloog goed zien welk bloedvat vernauwd is. Via de katheter wordt daar een ballon naartoe gebracht en vervolgens ter hoogte van de plaque opgeblazen. Hierdoor wordt de plaque tegen de vaatwand geperst. Ook de opgeblazen ballon veroorzaakt pijn op de borst, maar dan tijdelijk.

1p **2** Verklaar aan de hand van afbeelding 1 waardoor er tijdens de behandeling ook pijn op de borst kan ontstaan.

Na deze behandeling vraagt de patiënt zich af of hij ook een kunstmatige pacemaker nodig heeft.

2p **3** Leg uit waardoor bij mensen die een hartinfarct hebben gehad een kunstmatige pacemaker niet helpt om een eventueel volgend hartinfarct te voorkomen. Betrek in je antwoord de functie van een pacemaker.

▼ **Afb. 2** Het hart (schematisch).



In afbeelding 2 zijn een kransslagader en een kransader aangegeven met letters.

2p **4** Op welke van de aangegeven plaatsen kan zich een plaque bevinden die bij een dreigend hartinfarct met dotteren wordt behandeld?
A alleen op plaats P
B alleen op plaats Q
C dit kan zowel op plaats P als op plaats Q

Bij een bepaalde hartaandoening is de opening naar de aorta te nauw. Het hart moet hierdoor harder werken om voldoende bloed naar de aorta te pompen. Hierdoor kan linkerventrikelhypertrofie ontstaan: een toename van het spierweefsel in de linkerkamer. Deze hartafwijking kan een erfelijke oorzaak hebben.
Een gezonde zwangere vrouw zit aan het bed van haar man, de vader van haar ongeboren zoon. Bij haar man is met behulp van DNA-diagnostiek een erfelijke variant van de aandoening linkerventrikelhypertrofie geconstateerd. Op haar vraag hoe groot de kans is dat haar zoon de aandoening ook krijgt, is het antwoord: '50%'.

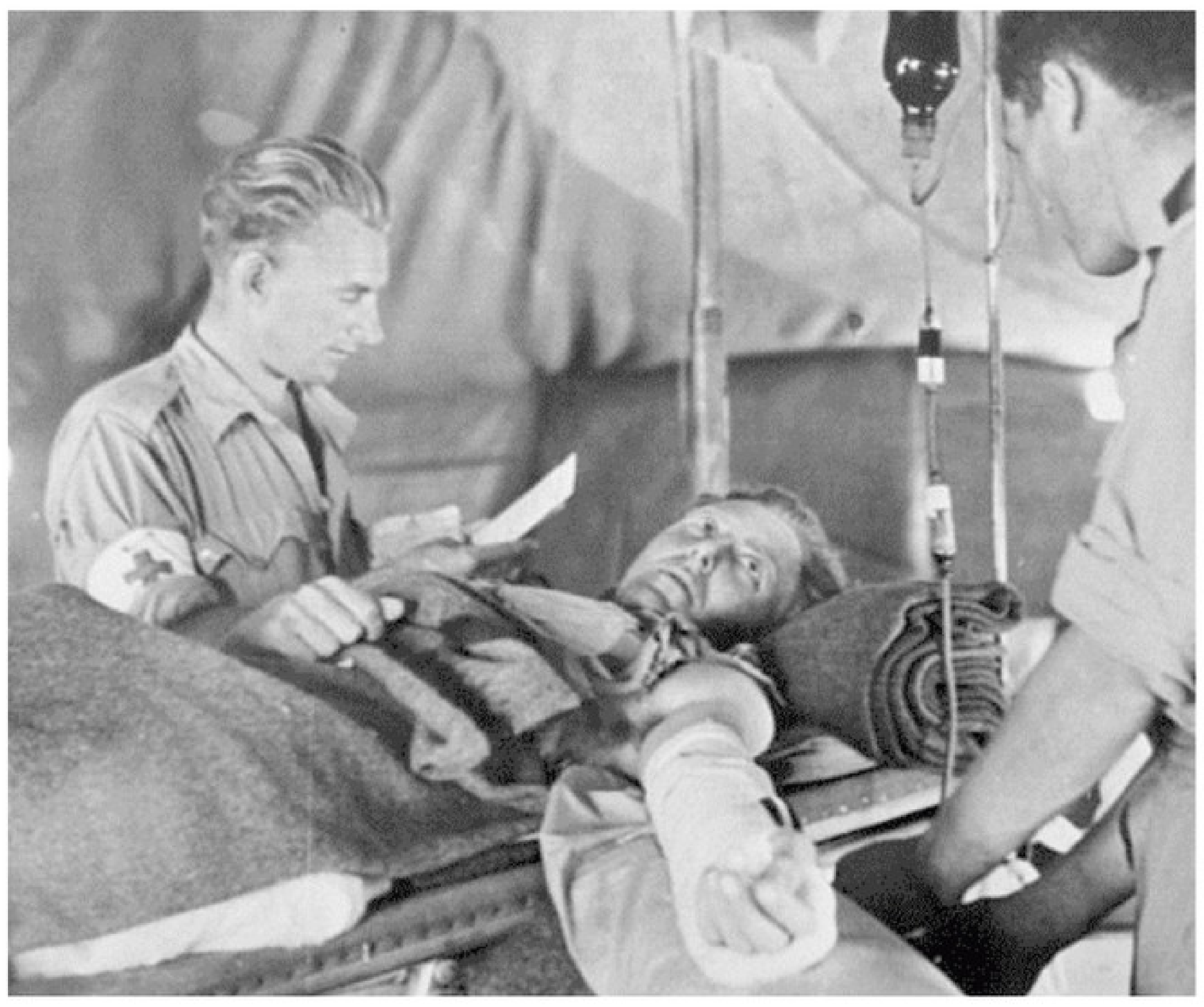
2p **5** Welk resultaat van de DNA-diagnostiek verklaart dit antwoord?
A Haar man heeft één autosomaal dominant allel dat de aandoening veroorzaakt.
B Haar man heeft één autosomaal recessief allel dat de aandoening veroorzaakt.
C Haar man heeft één X-chromosomaal dominant allel dat de aandoening veroorzaakt.
D Haar man heeft één X-chromosomaal recessief allel dat de aandoening veroorzaakt.

BLOEDTRANSFUSIES TIJDENS DE EERSTE WERELDOORLOG

Bron: examen havo 2017-2, vraag 7 tot en met 9.

In de Eerste Wereldoorlog (1914–1918) zijn veel soldaten gesneuveld op het slagveld. Het gebruik van zware munitie leidde tot forse verwondingen waardoor veel soldaten overleden als gevolg van bloedverlies.

In het kader van een project over de Eerste Wereldoorlog kozen Tom en Michael ervoor onderzoek te doen naar bloedtransfusies tijdens deze periode. Michael leest dat de Britse medische staf adviseerde om de gewonden met bloedverlies een infuus met een zoutoplossing te geven.



Helaas bleek dit infuus in de meeste gevallen niet voldoende en verloren de gewonden snel het bewustzijn waarna ze alsnog stierven. Het verlies van bewustzijn wordt veroorzaakt door het ontbreken van een bepaald bloedbestanddeel in de zoutoplossing.

2p **6** Welk bloedbestanddeel ontbreekt in de zoutoplossing waardoor het verlies van bewustzijn kan optreden?
A bloedplaatjes
B bloedplasma
C rode bloedcellen
D witte bloedcellen

De Canadese medische staf zag meer nut in het toedienen van bloed dat alle bloedbestanddelen bevat. In eerste instantie vond de transfusie plaats via een slangetje van donor naar ontvanger. Later werd het donorbloed opgevangen in een fles voordat het werd overgebracht naar de patiënt.

2p **7** Noteer welke bloedvaten en welke delen van het hart het donorbloed achtereenvolgens passeert op de kortste weg van een ader in de linkeronderarm van de ontvanger naar zijn hersenen.

Als het bloed werd opgevangen in een fles was het nodig om de inhoud van de fles in beweging te houden zodat het bloed niet stolde.

2p **8** Welke bloedbestanddelen zetten de bloedstolling in gang?
A bloedplaatjes en bloedplasma
B bloedplaatjes en rode bloedcellen
C bloedplaatjes en witte bloedcellen
D bloedplasma en rode bloedcellen
E bloedplasma en witte bloedcellen
F rode bloedcellen en witte bloedcellen

5 Gaswisseling en uitscheiding

We nemen voortdurend stoffen op uit onze omgeving. Stoffen die we niet gebruiken, scheiden we uit. Longen, huid, lever en nieren zijn uitscheidingsorganen. De opname en afgifte van gassen heet gaswisseling. Opname en uitscheiding houden het interne milieu constant. Dat heet homeostase.

ONTDEKKEN
Eerste hulp bij festivals 198

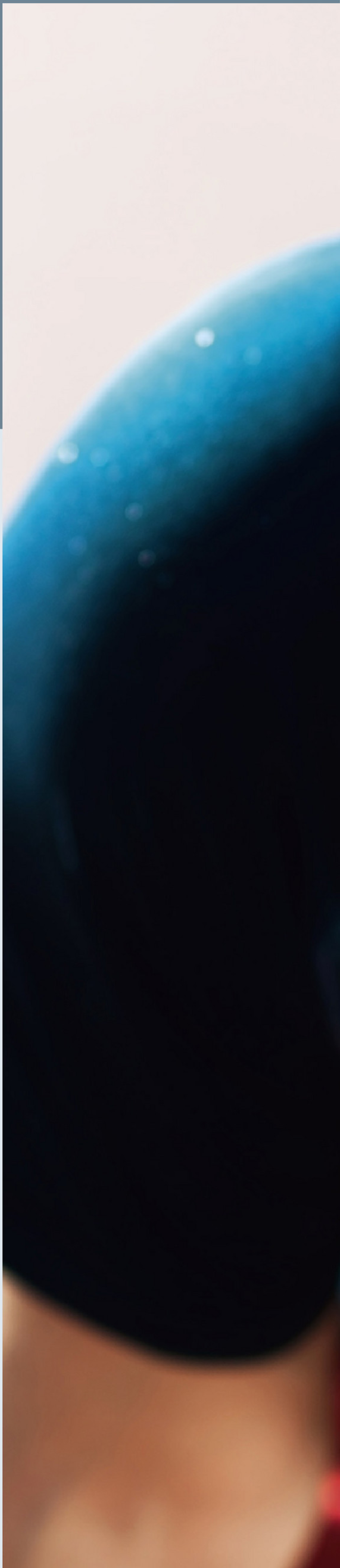
BASISSTOF
1 Gaswisseling 200
2 Longventilatie 210
3 De lever 218
4 De nieren 222
5 De huid 227

SAMENHANG
De koningsziekte 232

PRACTICA 234

SAMENVATTING 238

EXAMENTRAINER 242







Eerste hulp bij festivals

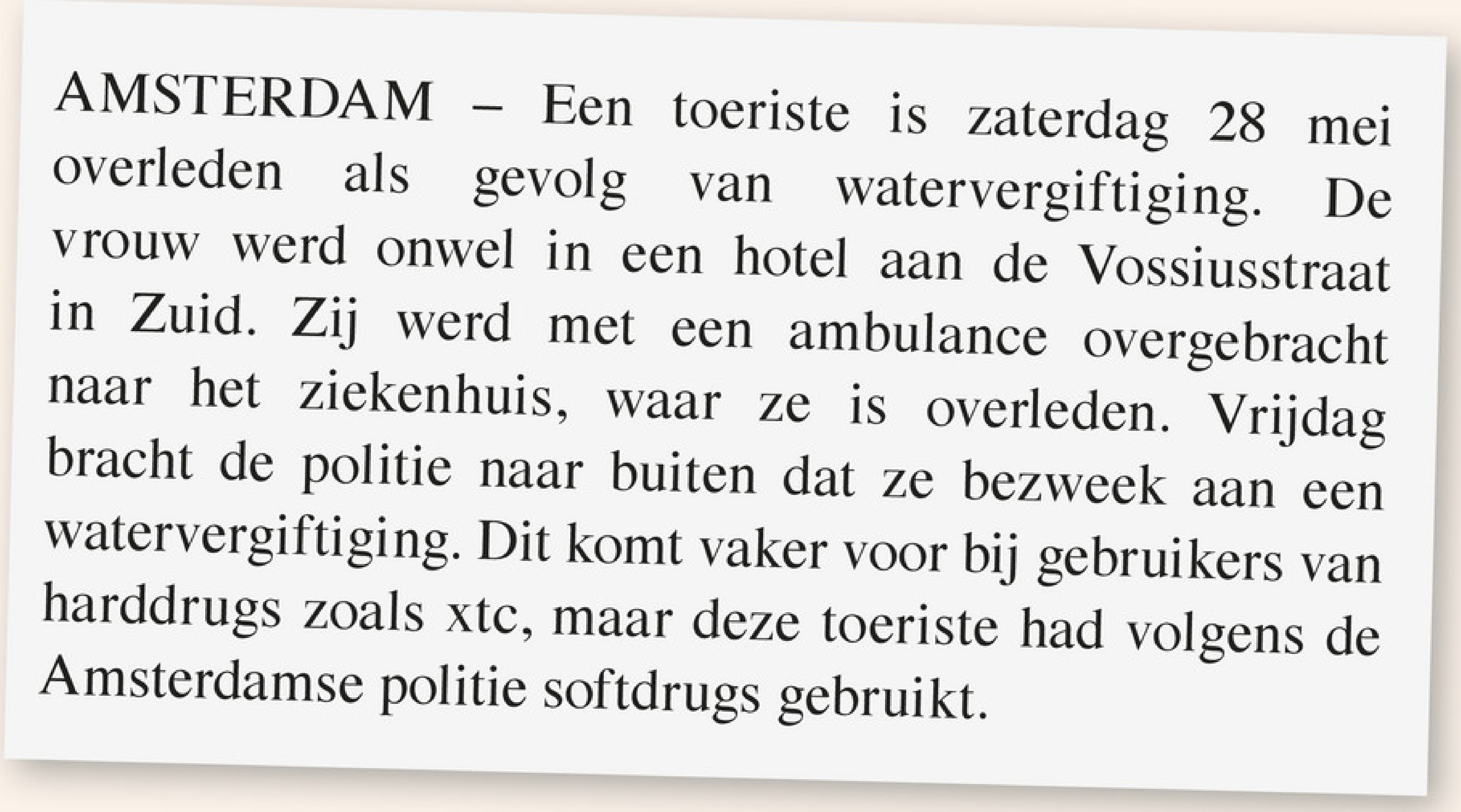
BASISSTOF 4

Bevrijdingspop, Zwolle. Terwijl duizenden mensen genieten van de muziek, zakt ergens in de mensenmassa een jongen in elkaar. Omstanders schieten te hulp. Gelukkig komt de jongen snel weer bij, maar hij is verward, gedesoriënteerd en misselijk. Bij de EHBO-post controleert een hulpverlener van het Rode Kruis het zoutgehalte van het bloed. De jongen blijkt een watervergiftiging te hebben.

Water is niet giftig. Toch bestaat er zoiets als een watervergiftiging. Daaraan kun je zelfs overlijden. Risicogroepen zijn marathonlopers en mensen die xtc hebben gebruikt. Zij krijgen vaak te horen dat ze zo veel mogelijk water moeten drinken, zeker bij hitte, maar dat kan dus helemaal verkeerd uitpakken. Het is ook weleens misgegaan bij 'waterdrinkwedstrijden', bijvoorbeeld tijdens de ontgroening bij een studentenvereniging. De symptomen van een watervergiftiging zijn verwarring, misselijkheid en desoriëntatie. Watervergiftiging komt niet vaak voor. Op festivals zijn oververhitting en uitdroging vaak een groter probleem, zeker op warme zomerdagen. De combinatie van hitte, alcohol en dansen zorgt ervoor dat je snel vocht verliest. Als je dan niet genoeg drinkt, raak je uitgedroogd. De symptomen zijn verwarring, misselijkheid en desoriëntatie – inderdaad, dezelfde verschijnselen als bij watervergiftiging. Maar de zorg die iemand met uitdroging nodig heeft, is heel anders dan bij watervergiftiging. Zeker bij warm weer denken omstanders vaak meteen aan uitdroging of oververhitting als iemand onderuitgaat. Ze gaan dan op zoek naar water om de patiënt te laten drinken. Maar bij een watervergiftiging kan nog meer water drinken dodelijk zijn!

Het is dus belangrijk dat je eerst weet wat er aan de hand is. Op alle grote festivals en evenementen zijn EHBO-posten aanwezig. Daar kan een vrijwilliger van het Rode Kruis het bloed controleren en de juiste hulp verlenen. EHBO'ers van het Rode Kruis kunnen zich specialiseren in hulpverlening op grote evenementen en in problemen rond alcohol en drugs. Zo'n gespecialiseerde EHBO'er kan bijvoorbeeld een wateradvies op maat geven om oververhitting, uitdroging of watervergiftiging te voorkomen. Op sommige festivals zijn voorlichtingsteams van jongeren aanwezig, bijvoorbeeld van het Rode Kruisproject 'Eerste Hulp Bij Festivals'. Zij laten bezoekers op een leuke manier zien wat de gevaren zijn op een festivalterrein en hoe je kunt handelen in geval van nood.

▼ **Afb. 1**


AMSTERDAM – Een toeriste is zaterdag 28 mei overleden als gevolg van watervergiftiging. De vrouw werd onwel in een hotel aan de Vossiusstraat in Zuid. Zij werd met een ambulance overgebracht naar het ziekenhuis, waar ze is overleden. Vrijdag bracht de politie naar buiten dat ze bezweek aan een watervergiftiging. Dit komt vaker voor bij gebruikers van harddrugs zoals xtc, maar deze toeriste had volgens de Amsterdamse politie softdrugs gebruikt.

Naar: 'Toeriste overleden aan watervergiftiging', *Het Parool*, 3 juni 2016.

opdrachten

Als hulpverlener van het Rode Kruis bemens je in de zomer EHBO-posten op festivals en evenementen. Vooral tijdens een hittegolf kan het daar druk worden. De laatste jaren heb je enkele keren te maken gehad met watervergiftiging en uitdroging bij festivalbezoekers. Vaak was daarbij xtc of alcohol in het spel. Voor komend seizoen besluiten jullie goed voorbereid op pad te gaan.
Eerst ga je ervoor zorgen dat jij en je collega's alles weten over de waterhuishouding en de invloed van alcohol en drugs. Daarvoor hebben jullie nog mooi even de tijd, voor het festivalseizoen losbarst.

1 Samen met drie collega's zoek je uit hoe de waterhuishouding van het lichaam precies werkt. Jullie gaan je verdiepen in vier onderwerpen: uitdroging, watervergiftiging, alcohol en xtc (werkzame stof: mdma). Jullie verdelen de onderwerpen. Na afloop wisselen jullie de kennis uit.
- Wat gebeurt er in het lichaam bij uitdroging?
- Wat gebeurt er in het lichaam bij watervergiftiging?
- Hoe beïnvloedt alcohol de waterhuishouding?
- Hoe beïnvloedt xtc de waterhuishouding?

Gebruik de leerstof uit basisstof 4 en zoek op internet. Maak voor jezelf een korte samenvatting van de informatie die je vindt. Dat kan in tekst, maar ook in bijvoorbeeld een schema, tekening of mindmap. Afbeeldingen en filmpjes kun je bewaren om te delen.
Verwerk in je samenvatting de volgende begrippen: *ADH*, *osmotische waarde*, *terugresorptie*, *ultrafiltratie*, *voorurine en waterhuishouding*.
Praat elkaar bij over de informatie die jullie hebben gevonden. Maak een overzicht waarin je de begrippen ADH, osmotische waarde, terugresorptie, ultrafiltratie en voorurine belicht bij zowel uitdroging als watervergiftiging. Geef ook aan wat de invloed is van alcohol en van xtc. Als jullie mindmaps hebben gemaakt, kun je die samenvoegen.

2 Bedenk en maak met zijn vieren aansprekend voorlichtingsmateriaal over 'water' (de waterhuishouding) voor jonge festivalbezoekers (16 tot 25 jaar). Ga uit van een festivalomgeving met veel hitte en drukte. Je kunt bijvoorbeeld een filmpje maken voor op de website van het evenement of een flyer om ter plekke uit te delen. Geef de festivalgangers kort en in eenvoudige taal informatie over de werking van de nieren en de rol van het hormoon ADH. Leg uit hoe uitdroging en watervergiftiging ontstaan, wat de gevolgen kunnen zijn, hoe je uitdroging en watervergiftiging kunt voorkomen en wat je wel en niet moet doen als je uitdroging of watervergiftiging vermoedt.

▼ **Afb. 2**



Leerdoelen

- Je kunt van delen van het ademhalingsstelsel de functies en kenmerken noemen.
- Je kunt uitleggen hoe het interne milieu min of meer constant wordt gehouden door de longen.
- Je kunt de werking van organen voor gaswisseling bij planten beschrijven.

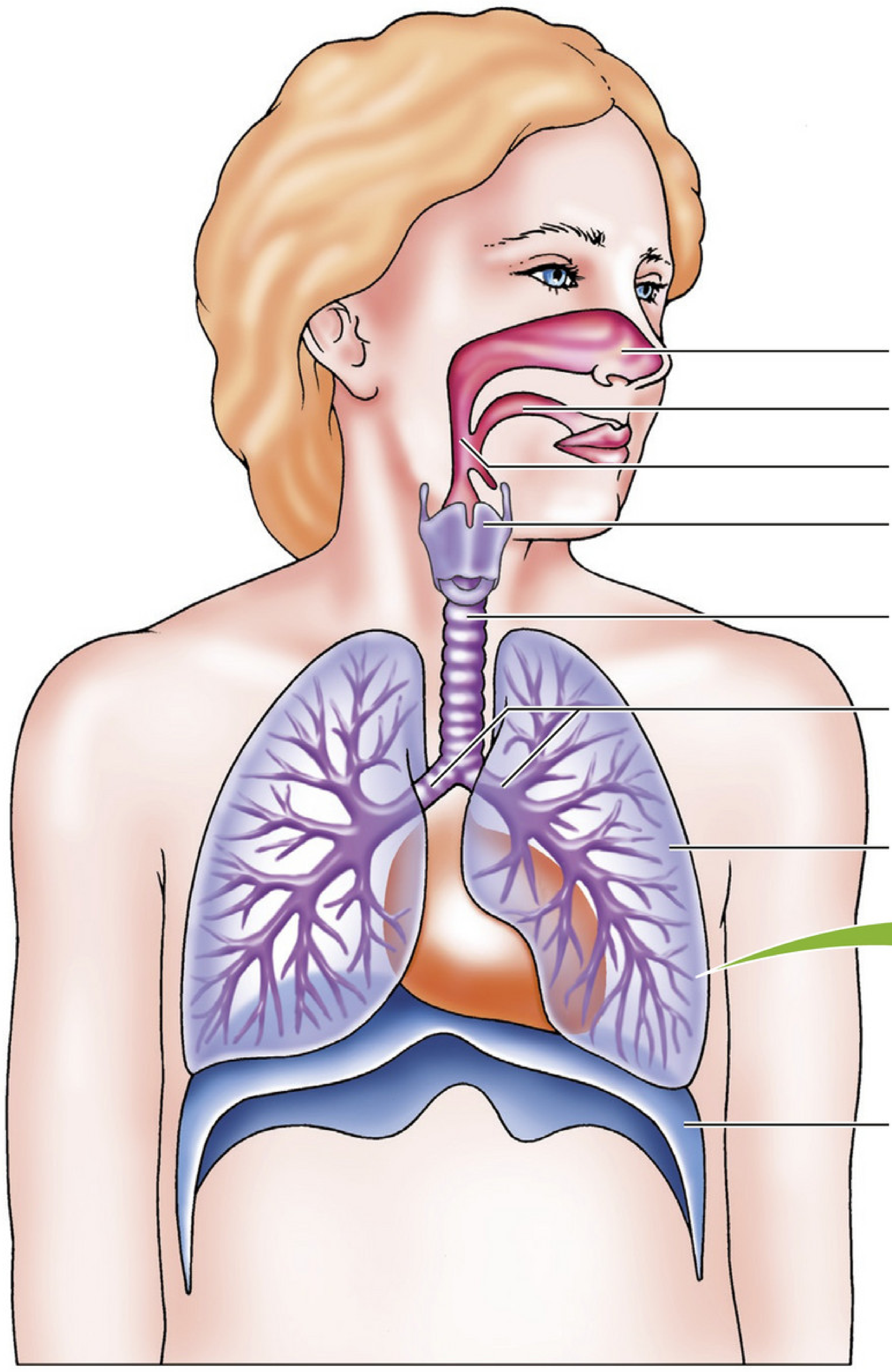
1 Gaswisseling

Wij landdieren dreigen voortdurend uit te drogen. Een dikke huid voorkomt dat. Maar de huid van de longen is dun. Dat is nodig voor de gaswisseling. Gelukkig zitten de longen binnen je lichaam, anders zou je toch nog uitdrogen.

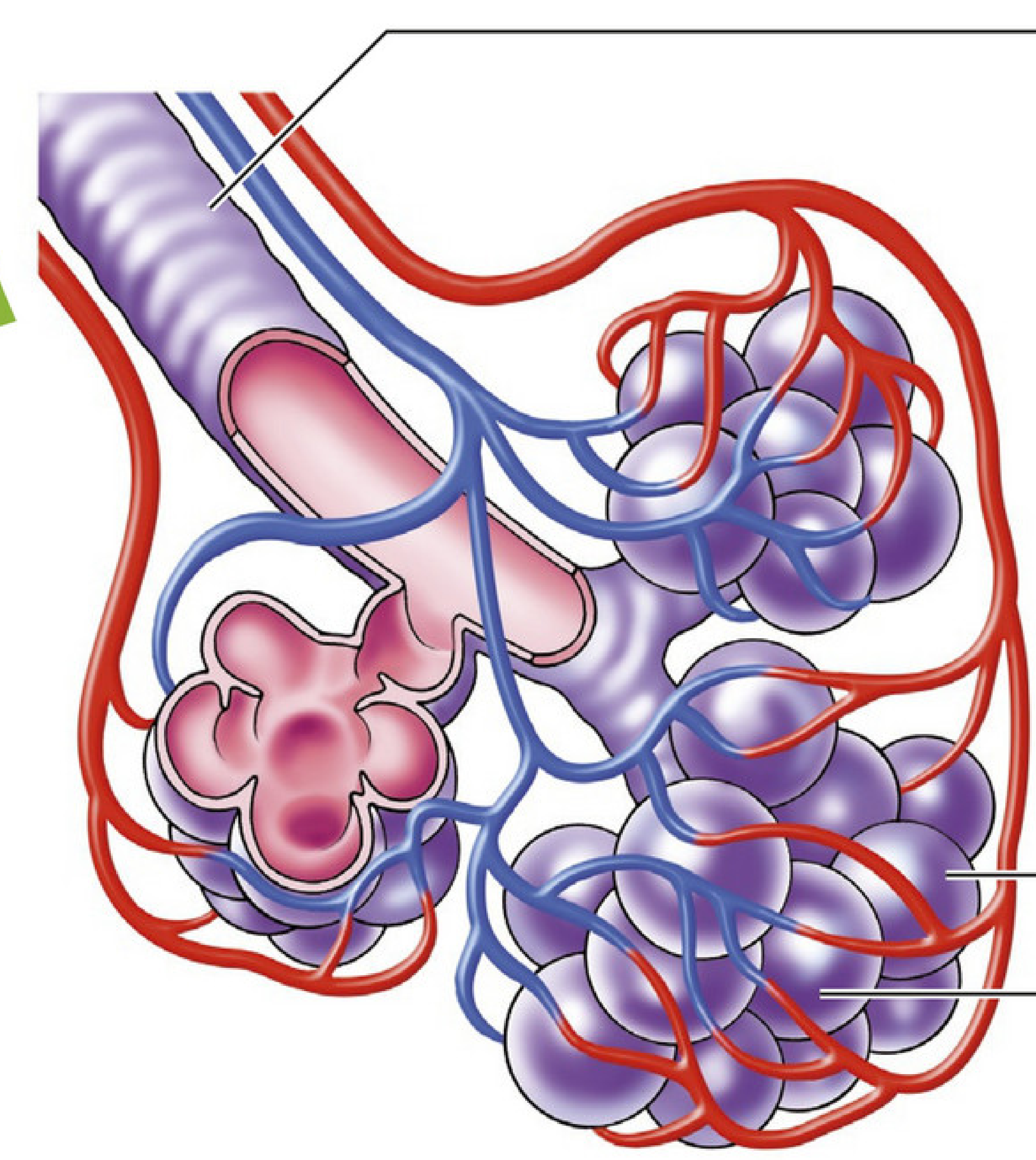
ADEMHALINGSSTELSEL

Het ademhalingsstelsel bestaat uit de **longen** en de luchtwegen (zie afbeelding 1). Met het ademhalingsstelsel neem je gassen op uit de lucht en geef je gassen af aan de lucht. Dit noem je **gaswisseling**.

▼ **Afb. 1** Het ademhalingsstelsel van de mens (schematisch).



1 doorsnede

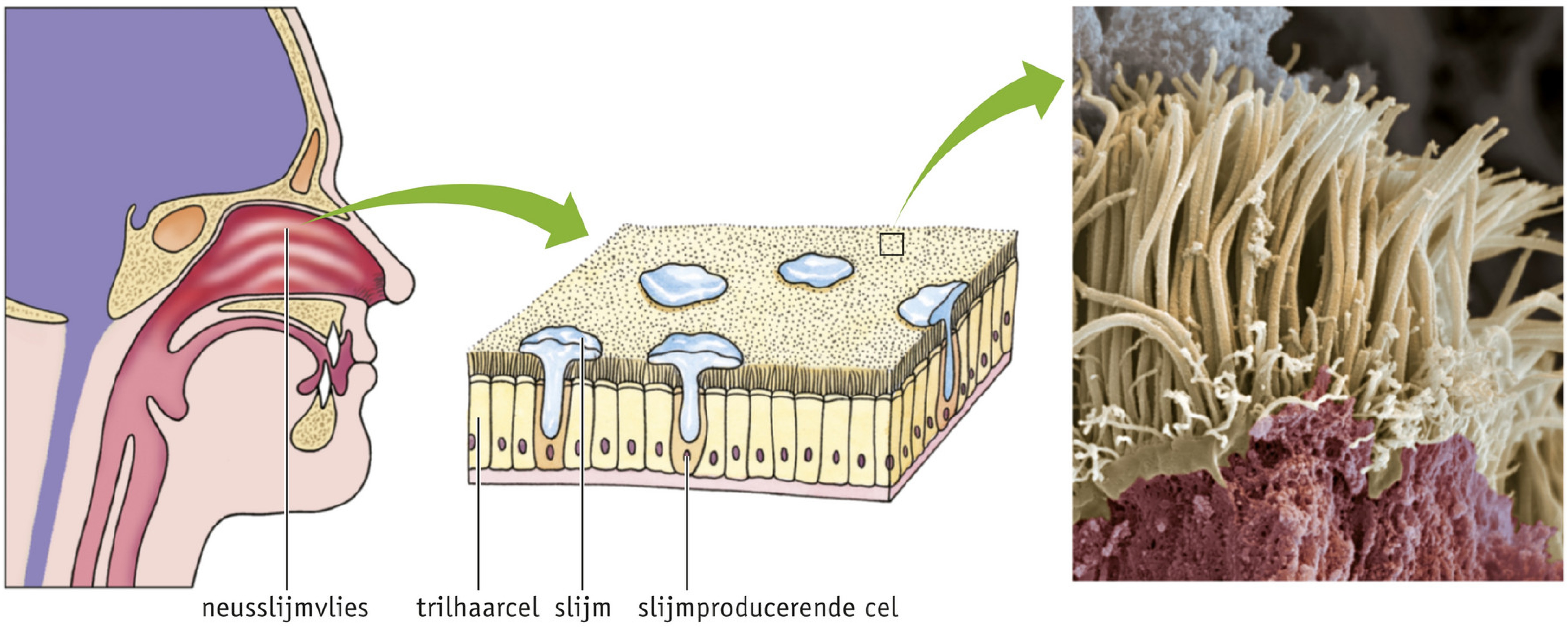


2 longblaasjes

Als je inademt, stroomt lucht door de neus of door de mond naar binnen. De neusholte is bekleed met **neusslijmvlies**. De buitenste laag cellen van het neusslijmvlies bestaat uit **trilhaarepitheel**. Daarin zitten slijmproducerende cellen en trilhaarcellen (zie afbeelding 2). Neusharen houden grote ingeademde stofdeeltjes tegen. Kleine stofdeeltjes en ziekteverwekkers blijven aan het slijm op het neusslijmvlies kleven. Bewegingen van de trilharen brengen het slijm naar

de keelholte. Daar wordt het samen met speeksel doorgeslikt. Het slijm maakt de binnenstromende lucht vochtig. Het bloed in de bloedvaten in het neusslijmvlies verwarmt de lucht. Zintuigcellen in de neus keuren de binnenstromende lucht op ‘vreemde geurtjes’. Dit is een vorm van bescherming, want die geurstoffen kunnen afkomstig zijn van gevaarlijke stoffen.
De neusholte is door nauwe openingen verbonden met de **bijholten**. Dat zijn holten in de schedelbeenderen, bijvoorbeeld de kaakholten en de voorhoofdsholte. De bijholten zijn ook bekleed met slijmvlies. Het slijm hiervan wordt bij gezonde personen afgevoerd via de neusholte. Bij verkoudheid zwelt het neus- en bijholteslijmvlies op. Daardoor worden de uitgangen van de bijholten afgesloten. Het slijm in de bijholten hoopt zich dan op, waardoor een ‘verstopt’ gevoel ontstaat.

▼ **Afb. 2** Het neusslijmvlies.



1 de ligging van het neusslijmvlies

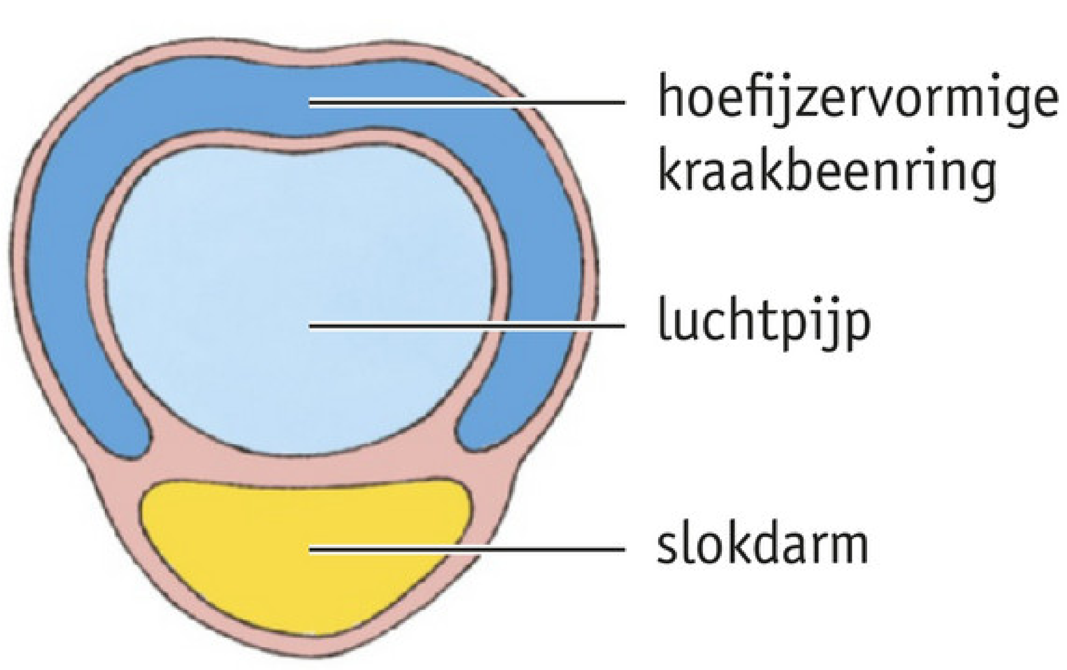
2 schematische tekening van trilhaarepitheel

3 elektronenmicroscopische foto van trilhaarepitheel

In de keelholte bevinden zich de huig en het strotklepje. Het **strotklepje** sluit de luchtpijp af als je iets doorslikt. Tussen de keelholte en de luchtpijp zit het **strottenhoofd**. Hierin liggen de **stembanden**. Dat zijn stevige vliezen die gaan trillen als er lucht langs komt. Hierdoor ontstaan geluiden.

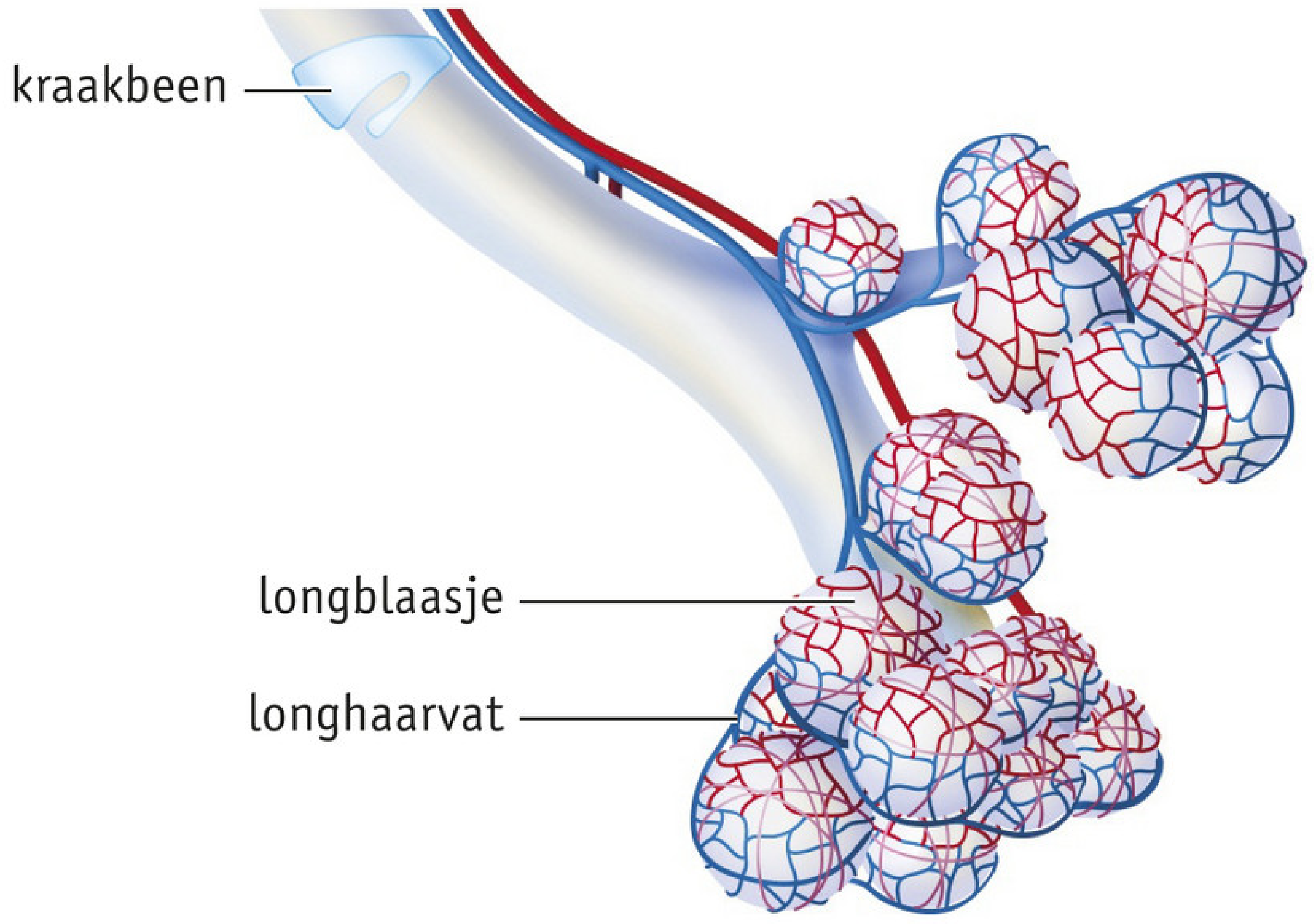
De **luchtpijp** verbindt de keelholte met de longen. De luchtpijp vertakt zich in twee **bronchiën**. In de wand van de luchtpijp en de bronchiën zitten hoefijzervormige **kraakbeenringen** (zie afbeelding 3). De bronchiën vertakken zich in steeds kleinere zijtakjes: de **bronchiolen**. De wanden van de bronchiolen hebben geen kraakbeenringen, maar spierweefsel. Door samentrekking of ontspanning van dit spierweefsel kunnen de bronchiolen zich vernauwen of verwijden. Dit is van invloed op de hoeveelheid lucht die per ademhaling wordt in- en uitgeademd. Het spierweefsel in de wand van de bronchiolen wordt beïnvloed door het autonome zenuwstelsel en door hormonen. Onder invloed van het hormoon adrenaline verwijden de bronchiolen zich.
De binnenwand van de luchtpijp, bronchiën en bronchiolen is bekleed met slijmvlies. De buitenste laag cellen van dit slijmvlies bestaat uit trilhaarepitheel. De trilharen brengen het slijm omhoog naar de keelholte. Als het slijmvlies wordt geprikkeld, bijvoorbeeld door stofdeeltjes, ga je hoesten.

▼ **Afb. 3** Doorsnede van de luchtpijp (schematisch).

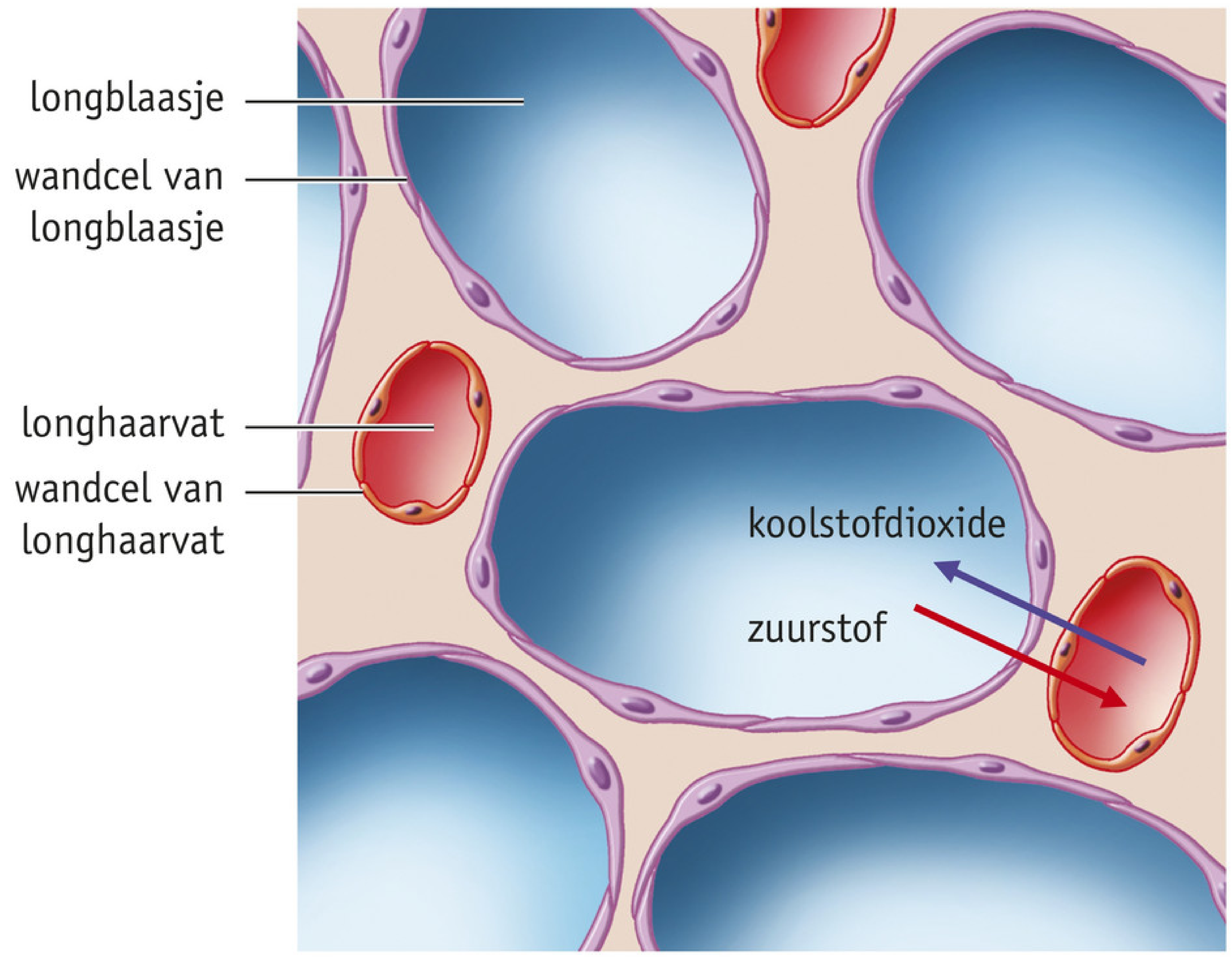


Aan de uiteinden van de fijnste bronchiolen zitten de **longblaasjes**. De wand daarvan is maar één cellaag dik en de binnenkant is bedekt met een dun laagje vocht. Om de longblaasjes heen zit een netwerk van fijne bloedvaatjes: de longhaarvaten (zie afbeelding 4).

▼ **Afb. 4** Longblaasjes met longhaarvaten (schematisch).



1 buitenaanzicht



2 doorsnede van een deel van de longen

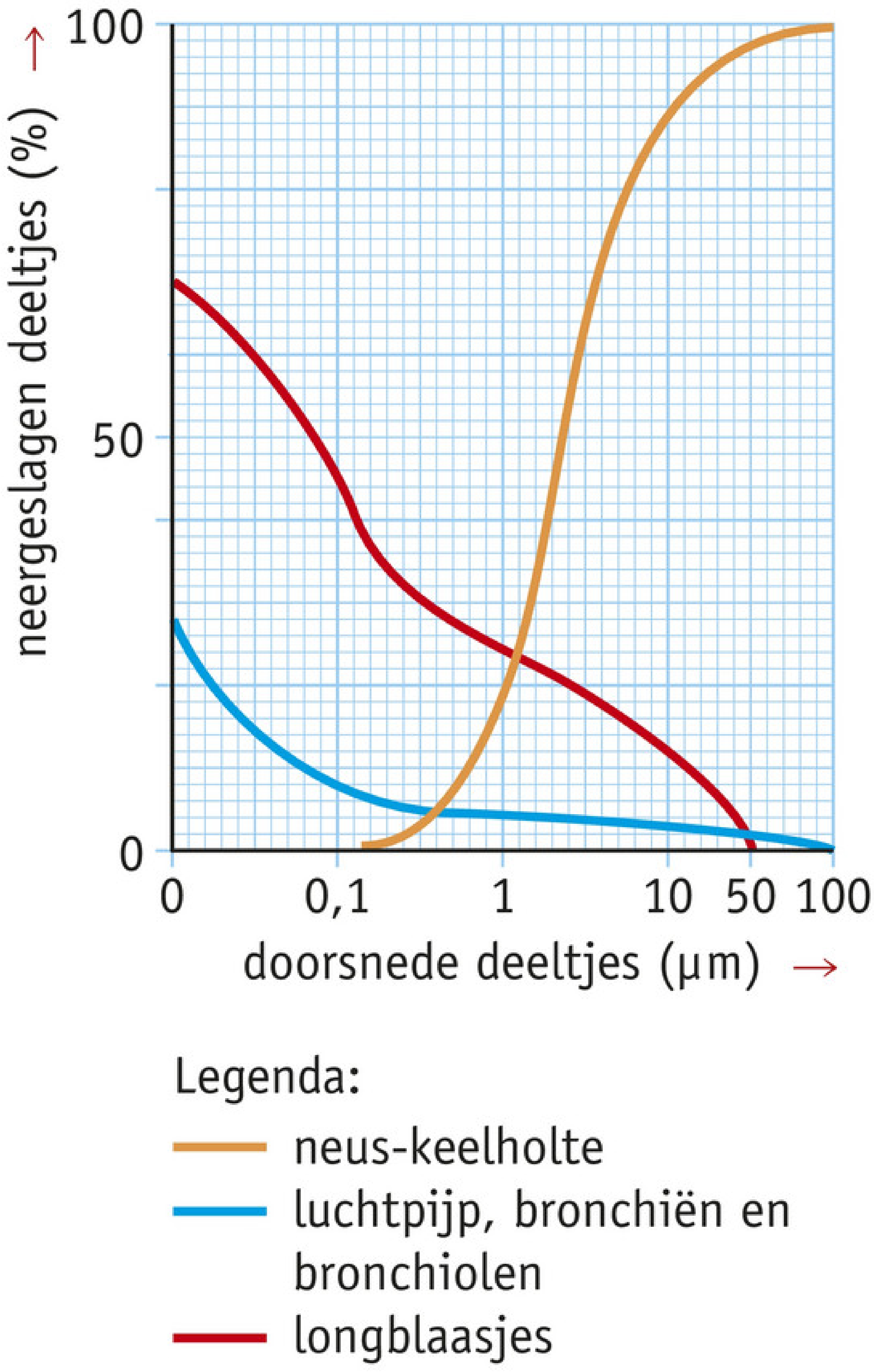
opdrachten

1 **a** Kun je tegelijk slikken en ademhalen? Leg je antwoord uit.
b Inademen door de neus is gezonder dan inademen door de mond. Geef hiervoor vier redenen.
c Spiertjes in de stembanden kunnen de stembanden meer of minder aanspannen. Welke verandering in de stembanden treedt op als je op hogere toon gaat praten?
d Afbeelding 3 is een doorsnede van de luchtpijp. Waar in de figuur bevindt zich de voorkant?
e Is de doorsnede van afbeelding 3 gemaakt ter hoogte van de hals, ter hoogte van het hart of ter hoogte van de maag?
f In de luchtpijp bevinden zich kraakbeenringen. Leg uit waar deze kraakbeenringen voor dienen.
g Leg uit waarom het niet handig zou zijn als de hele luchtpijp met kraakbeen was bekleed.

2 Adrenaline noem je ook wel het ‘fight, flight en fright-hormoon’. Het is functioneel dat de bronchiolen onder invloed van adrenaline worden verwijd. Leg dit uit.

3 In de lucht bevinden zich allerlei soorten deeltjes. Een fijn verdeelde vloeistof of vaste stof in een gas heet een aerosol. De doorsnede van de deeltjes in aerosolen varieert van 0,01 tot 100 µm. In het diagram van afbeelding 5 is weergegeven welk percentage van de deeltjes van de aerosolen bij inademing via de neus neerslaat op de wand van verschillende delen van het ademhalingsstelsel.

▼ **Afb. 5** Percentage van de deeltjes van de aerosolen dat bij inademing via de neus neerslaat op de wand van verschillende delen van het ademhalingsstelsel.



Op basis van de gegevens in het diagram doen twee leerlingen een uitspraak.

a Jelmer zegt dat er in de lucht die wordt uitgeademd geen aerosolen meer voorkomen.
Is deze uitspraak juist? Leg je antwoord uit.

b Tristan zegt dat er bij inademing door de mond minder aerosoldeeltjes met een doorsnede van 50 μm in de luchtpijp komen dan bij inademing door de neus.
Is deze uitspraak juist? Leg je antwoord uit.

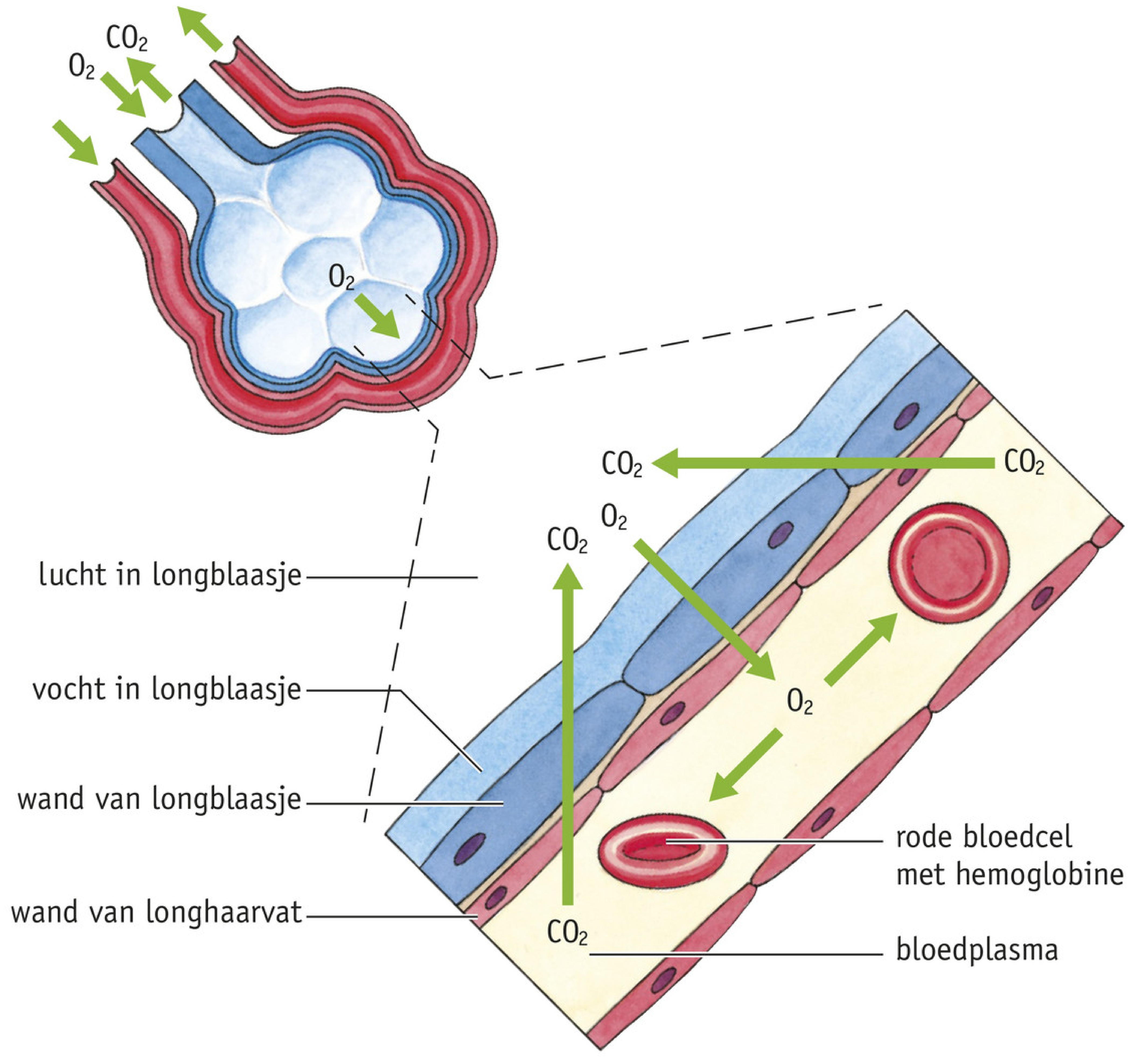
AANVOER VAN ZUURSTOF

Actieve lichaamscellen verbruiken zuurstof. De **O_2-concentratie** in de cellen neemt daardoor af en de **CO_2-concentratie** neemt toe. Daardoor dreigt de homeostase te worden verstoord. Door de aanvoer van zuurstof en de afvoer van koolstofdioxide wordt de homeostase gehandhaafd.

In de longen vindt **diffusie** plaats van zuurstof vanuit de lucht in de longblaasjes naar het vocht in de longblaasjes. Vanuit dit vocht vindt diffusie plaats naar het bloed in de longhaarvaten (zie afbeelding 6). De diffusie van vocht naar bloed wordt vooral veroorzaakt door het verschil in zuurstofspanning tussen het vocht in de longblaasjes en het bloedplasma. De zuurstofspanning (pO_2 ofwel partiële zuurstofdruk) geeft aan hoe groot het aandeel zuurstofmoleculen in de vloeistof is. Het verschil in zuurstofspanning wordt gehandhaafd doordat de lucht in de longblaasjes voortdurend wordt ververst en door de aanvoer van zuurstofarm bloed langs de longblaasjes.

Bloed bevat koolstofdioxide. Dit is onder andere opgelost in het bloedplasma. Door het verschil in koolstofdioxidespanning (pCO_2) vindt diffusie plaats van het bloedplasma naar het vocht in de longblaasjes. Van daaruit wordt koolstofdioxide afgegeven aan de lucht in de longblaasjes.

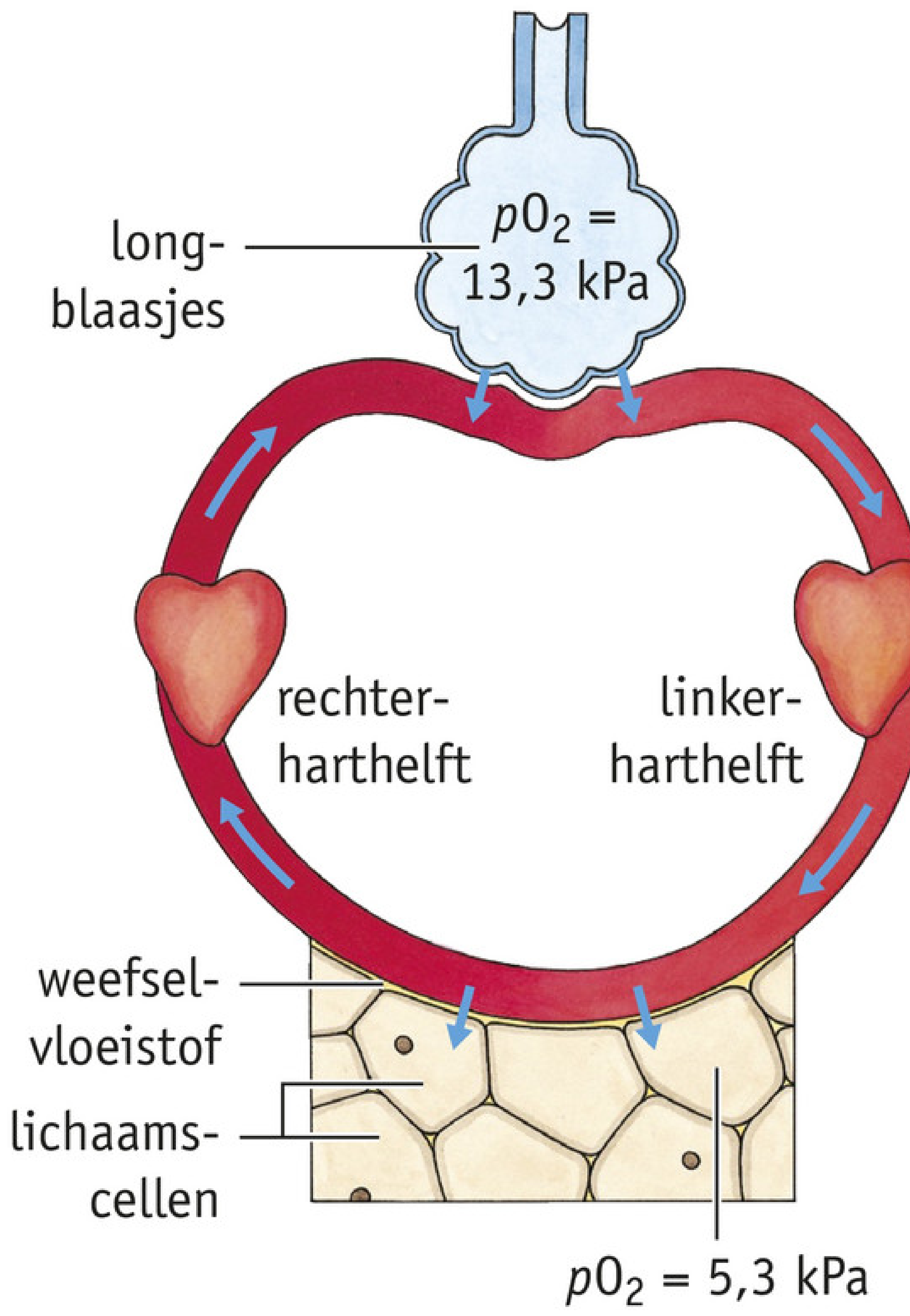
▶ **Afb. 6** Gaswisseling tussen longblaasjes en longhaarvaten.



▼ **Afb. 7** Evenwichtsreactie.

$$Hb + O_2 \rightleftharpoons HbO_2$$

▼ **Afb. 8** De partiële zuurstofdruk (pO_2) van het bloed in de grote en kleine bloedsomloop bij een persoon in rust (schematisch).



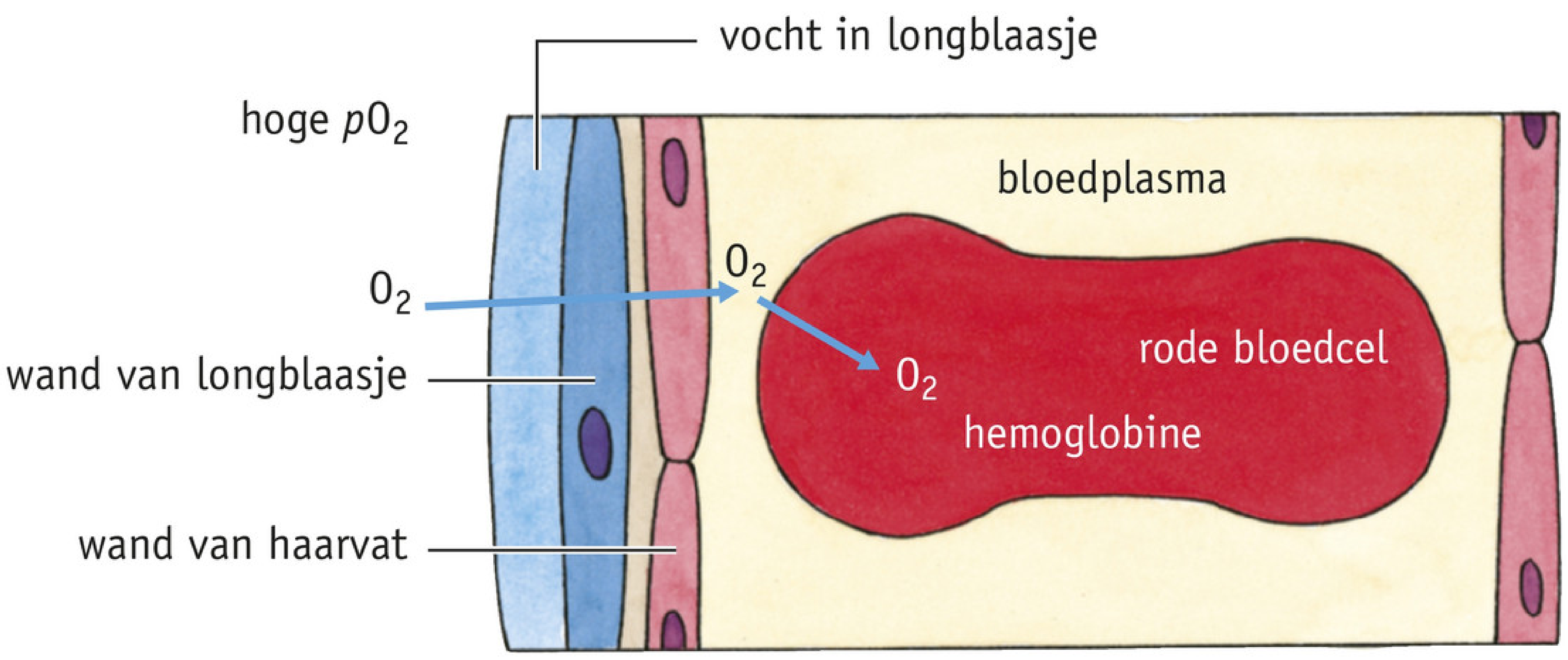
Lucht bestaat voor ongeveer 79% uit stikstof. Er is geen verschil in stikstofspanning (pN_2) tussen de lucht in de longblaasjes en het bloedplasma. Er gaan stikstofmoleculen vanuit de lucht in de longblaasjes naar het bloedplasma en er gaan evenveel stikstofmoleculen in omgekeerde richting.

TRANSPORT VAN ZUURSTOF

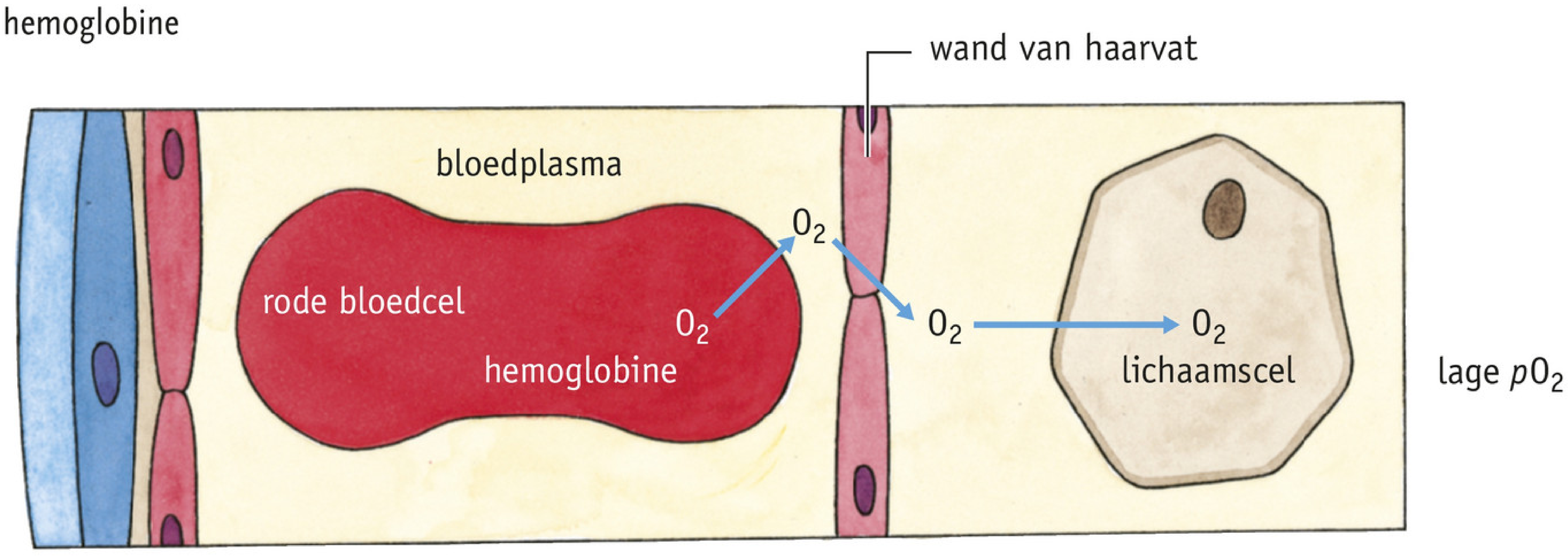
In bloedplasma kan slechts een kleine hoeveelheid zuurstof oplossen. De zuurstof in het bloed wordt vooral gebonden aan **hemoglobine** (Hb) in de rode bloedcellen. Deze reactie is een evenwichtsreactie (zie afbeelding 7). In een omgeving met een lage O_2-concentratie verloopt de evenwichtsreactie naar links. In een omgeving met een hoge O_2-concentratie verloopt de reactie naar rechts, zoals in de longhaarvaten (zie afbeelding 8). Als hemoglobine de maximale hoeveelheid zuurstof heeft gebonden, noem je haar verzadigd. Bloed met verzadigde hemoglobine is lichtrood. Bloed waarvan de hemoglobine weinig zuurstof heeft gebonden, is donkerrood.

De zuurstof diffundeert eerst vanuit de longblaasjes naar het bloedplasma. Het grootste deel van de zuurstof wordt in het bloedplasma meteen weggevangen door hemoglobine (zie afbeelding 9.1). Daardoor blijft de zuurstofconcentratie in het bloedplasma laag. Het concentratieverschil tussen de zuurstof in het vocht van de longblaasjes enerzijds en de zuurstof in het bloedplasma anderzijds, blijft daardoor groot. De diffusie blijft daardoor doorgaan. Pas als de hemoglobine vrijwel geheel met zuurstof is verzadigd, kan de zuurstofconcentratie van het bloedplasma gelijk worden aan die van het vocht in de longblaasjes.
Organen verbruiken zuurstof, vooral als ze hard werken. Daardoor gaat de zuurstofconcentratie in de cellen van het orgaan omlaag. De zuurstof in de cellen wordt aangevuld door diffusie vanuit de omringende weefselvloeistof. De weefselvloeistof krijgt zijn zuurstof weer vanuit het bloed in de haarvaten. Het gevolg is dat de zuurstofconcentratie in de haarvaten daalt. In een omgeving met een lage zuurstofconcentratie kan hemoglobine de zuurstof niet meer vasthouden. De zuurstofmoleculen raken gemakkelijk los (zie afbeelding 9.2).

▼ **Afb. 9** Het transport van zuurstof.



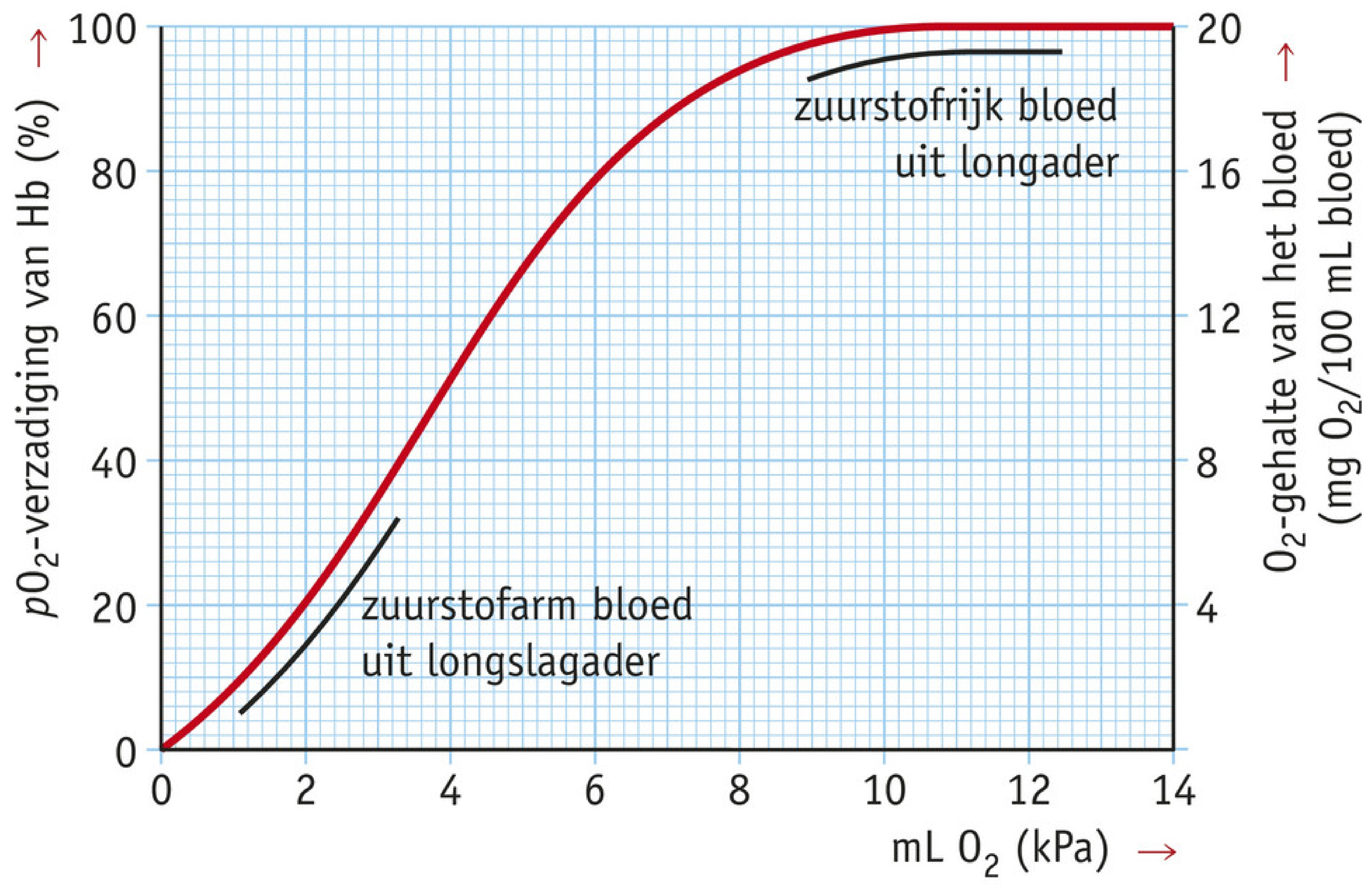
1 binding van zuurstof aan hemoglobine



2 afgifte van zuurstof aan lichaamscellen

VERZADIGINGSKROMME

Hoeveel zuurstofmoleculen er vrijkomen, is afhankelijk van de pO_2 in een weefsel. Deze pO_2 is weer afhankelijk van de activiteit van de cellen van het weefsel. In een weefsel in rust is de pO_2 ongeveer 5,3 kPa; in een actief weefsel is de pO_2 veel lager. Het verband tussen de pO_2 van het interne milieu en het percentage verzadigde hemoglobine wordt weergegeven in een verzadigingskromme (zie afbeelding 10).



Afb. 10 De pO_2-verzadigingskromme van hemoglobine.

TRANSPORT VAN KOOLSTOFDIOXIDE

Bij dissimilatie in cellen ontstaat koolstofdioxide. In de organen treedt door spanningsverschil diffusie op van koolstofdioxide naar het bloed in de haarvaten. Een klein deel van dit koolstofdioxide wordt als CO_2 door het bloedplasma vervoerd. Het grootste deel (70%) wordt vervoerd als waterstofcarbonaationen (HCO_3^-). Deze ionen ontstaan vooral in de rode bloedcellen, maar worden opgelost in het bloedplasma vervoerd. De rest van het opgenomen CO_2 (23%) wordt in rode bloedcellen vervoerd, gebonden aan hemoglobine.
In de longhaarvaten diffundeert het opgeloste CO_2 vanuit het bloedplasma naar het vocht van de longblaasjes. Het aan hemoglobine gebonden CO_2 komt vrij en diffundeert ook naar het vocht van de longblaasjes. De longen kunnen de uitscheiding van CO_2 reguleren door aanpassing van de diepte en de snelheid van de ademhaling. Daarmee worden schommelingen van de CO_2-concentratie binnen de perken gehouden.

INVLOED VAN DE PH

De pH van het bloed is ook van invloed op de ligging van het evenwicht bij de reactie van afbeelding 7. De pH van het bloed wordt beïnvloed door de CO_2-concentratie. Bij een weefsel met cellen in rust, is de pCO_2 ongeveer 2,7 kPa en heeft het bloed in de haarvaten een pH van ongeveer 7,4. In een actief weefsel is de pCO_2 een stuk hoger (tot 11 kPa). Door opname van veel CO_2 daalt de pH van het bloed in de haarvaten. Dat komt doordat CO_2 en H_2O samen H_2CO_3 vormen, dat op zijn beurt uiteenvalt in HCO_3^- en H^+. Hierdoor verschuift het evenwicht bij de reactie van afbeelding 7 naar links: er komen meer zuurstofmoleculen vrij.
Ten slotte is ook de temperatuur van invloed op de ligging van het evenwicht. Hoe hoger de temperatuur, hoe meer zuurstof er vrijkomt uit hemoglobine.

opdrachten

4 Is de pO_2 in het vocht in de longblaasjes lager of hoger dan die in het bloedplasma?

5 Wanneer de zuurstofconcentratie van het bloedplasma gelijk is aan die van het vocht in de longblaasjes, heeft de hemoglobine in 100 mL bloed ongeveer 20 mL zuurstof gebonden. In het bloedplasma is dan ongeveer 0,5 mL zuurstof opgelost.

a Hoeveel van de zuurstof die wordt getransporteerd, is gebonden aan hemoglobine en hoeveel ervan is opgelost in het bloedplasma?

b De pO_2 van lucht in de longblaasjes is 13,3 kPa. Hoeveel procent van de hemoglobine raakt onder deze omstandigheden verzadigd (zie afbeelding 10)?

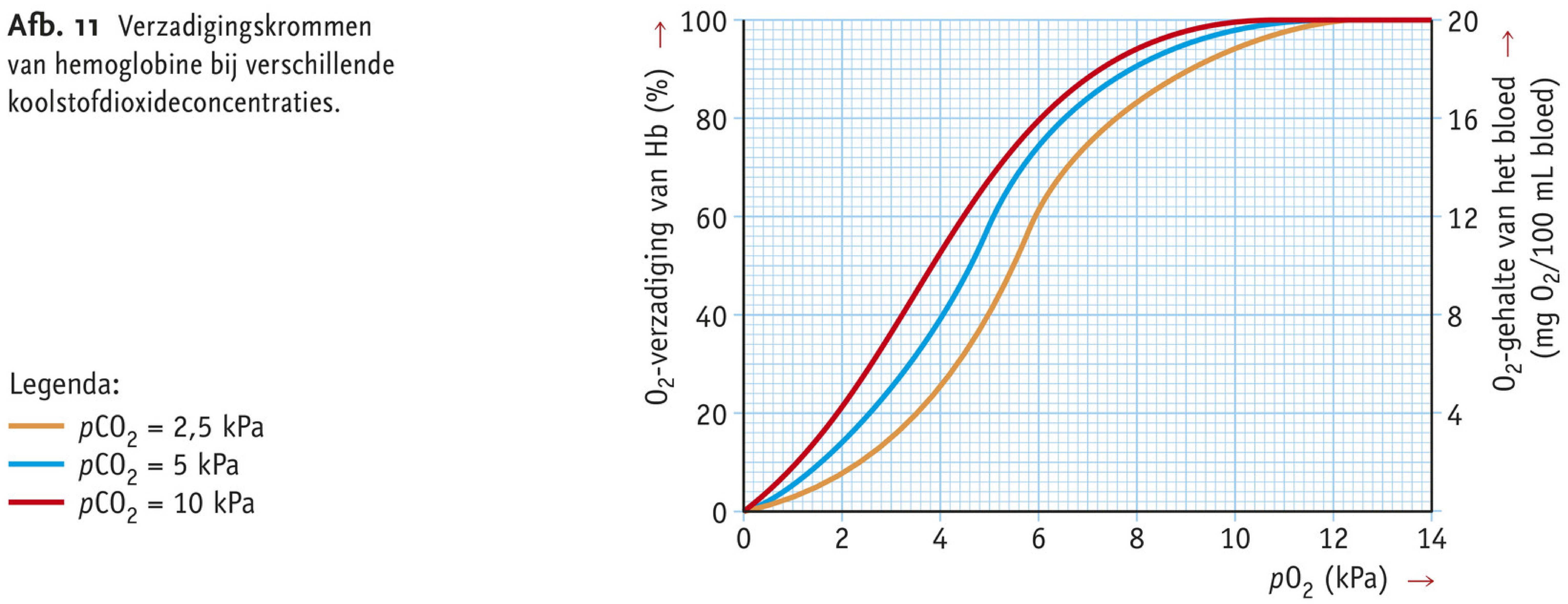
6 Bekijk afbeelding 11.

a Heeft een variërende pO_2 van de buitenlucht grote gevolgen voor de zuurstofopname in de longhaarvaten? Leg je antwoord uit.

b Hoeveel milliliter O_2 wordt door 100 mL bloed in de haarvaten van een weefsel in rust afgegeven? Noteer je berekening.

c Het is gunstig dat de verzadigingskromme van hemoglobine het steilst loopt bij pO_2-waarden die in de weefsels voorkomen. Leg dit uit.

d In afbeelding 10 is de verzadigingskromme van hemoglobine weergegeven bij 37 °C. Bij hogere temperaturen ligt de verzadigingskromme rechts van deze kromme. Leg uit wat dat betekent voor de afgifte van zuurstofmoleculen bij hogere temperaturen.



Afb. 11 Verzadigingskrommen van hemoglobine bij verschillende koolstofdioxideconcentraties.

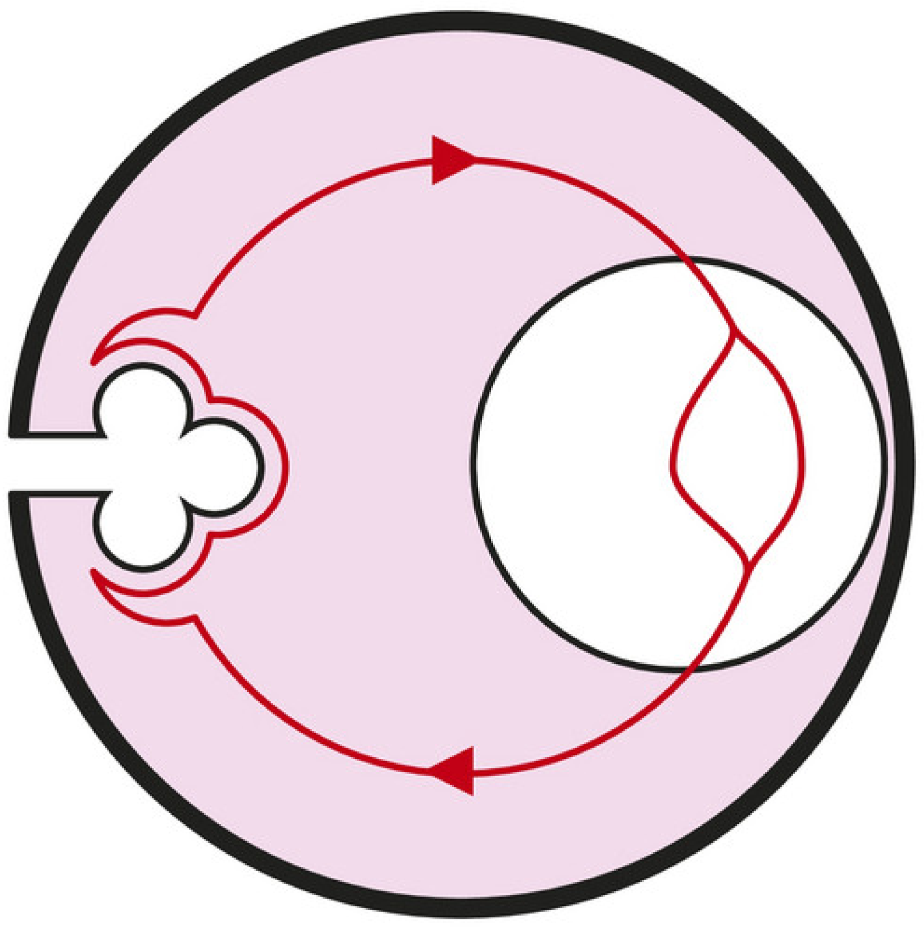
7 In afbeelding 11 zijn verzadigingskrommen van hemoglobine weergegeven bij verschillende koolstofdioxideconcentraties.

a In weefsel P is de pO_2 5 kPa en de pCO_2 is ook 5 kPa. Hoeveel milliliter O_2 bevat 100 mL bloed onder deze omstandigheden?

b In weefsel Q is de pO_2 ook 5 kPa, maar de pCO_2 is gedaald tot 2,5 kPa. Hoeveel milliliter O_2 bevat 100 mL bloed onder deze omstandigheden?

c De pCO_2 van de weefsels heeft invloed op de ligging van het evenwicht bij de reactie van afbeelding 7. Welk voordeel heeft dit?

8 Koolstofmonoxide (CO) is een reukloos gas dat ontstaat door onvolledige verbranding in bijvoorbeeld verwarmingsketels. Onvolledige verbranding vindt plaats als er onvoldoende zuurstof is, bijvoorbeeld in een slecht geventileerde ruimte. Na inademing bindt CO op dezelfde plaats in het Hb-molecuul als O_2, alleen ongeveer 200× zo sterk. Deze verbinding wordt daardoor niet gemakkelijk verbroken. Als je in een ruimte met 0,05% CO verblijft, raakt al bijna de helft van je hemoglobine met CO verzadigd. Welke gevolgen heeft het verblijf voor jou in zo'n ruimte?



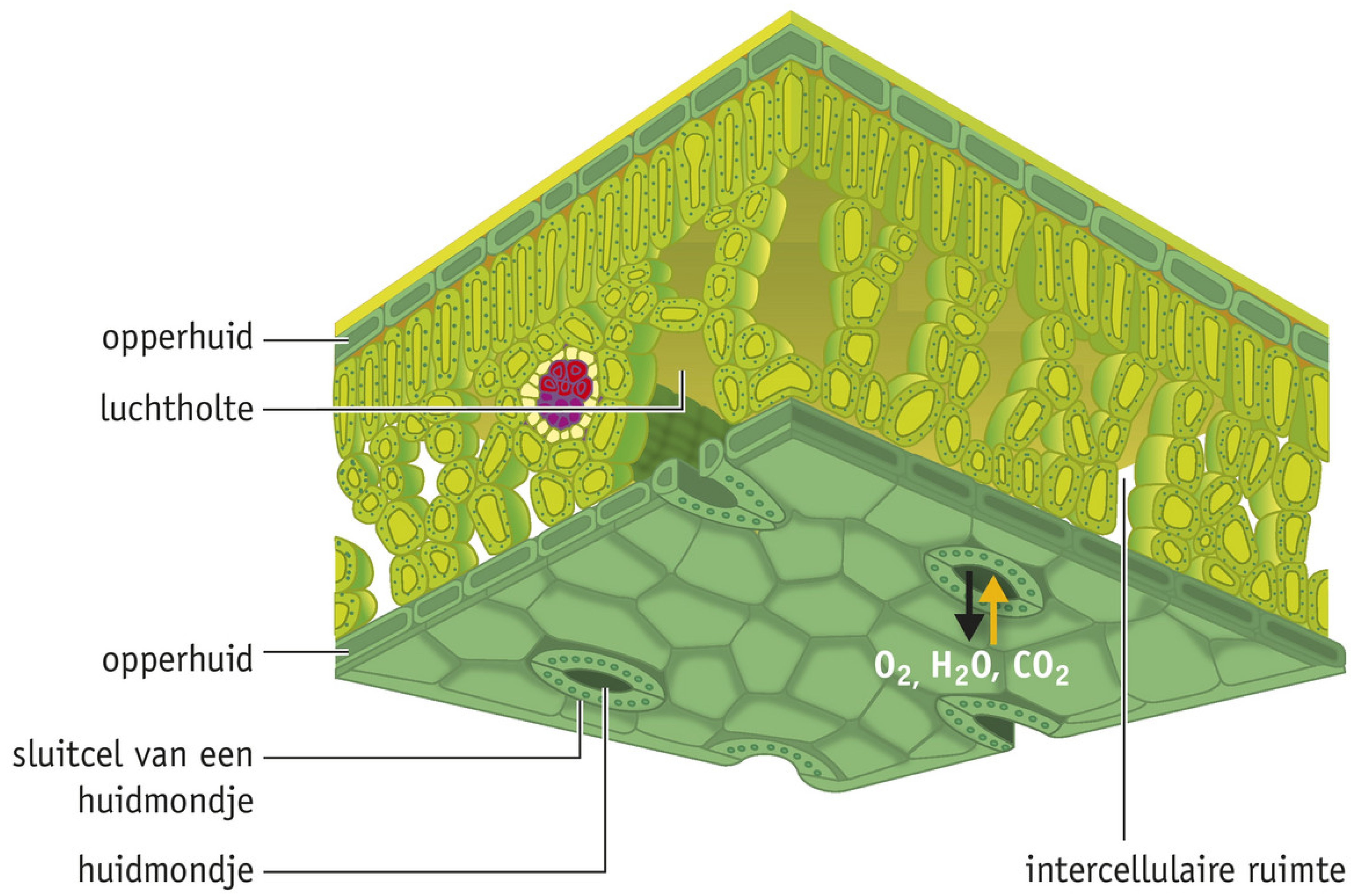
▼ **Afb. 12** Gaswisseling bij de mens (schematisch).

9 In afbeelding 12 zie je een schematische weergave van de gaswisseling bij de mens. De witte cirkel stelt de cellen voor.
 a Wat stellen de volgende onderdelen voor: de grote cirkel aan de buitenkant, de instulping en de rode lijnen?
 b De grote cirkel aan de buitenkant is dik getekend. Wat is de reden hiervoor?
 c Maak twee vergelijkbare tekeningen: een van de gaswisseling bij insecten en een van de gaswisseling bij vissen. Schrijf bij elke tekening een korte toelichting. Maak gebruik van internet en boeken.

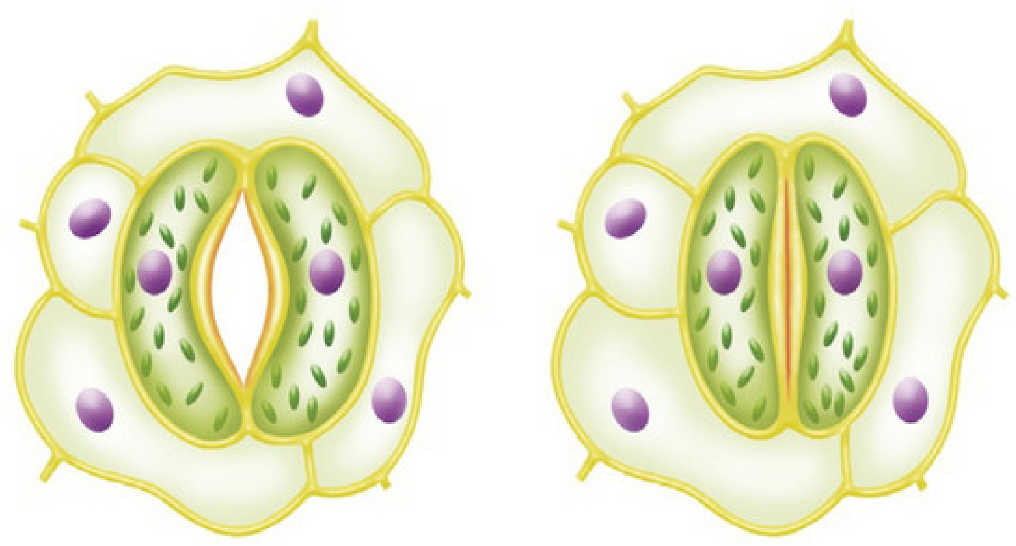
GASWISSELING BIJ PLANTEN

De opname en afgifte van zuurstof en koolstofdioxide door planten wordt ook gaswisseling genoemd. Planten hebben zuurstof nodig voor de verbranding (dissimilatie) en gebruiken koolstofdioxide voor de fotosynthese (koolstofassimilatie). Bij verbranding komt koolstofdioxide vrij, bij de fotosynthese produceert de plant zuurstof.
Zuurstof en koolstofdioxide worden door diffusie uitgewisseld tussen de bladcellen en de lucht via luchtholten en **huidmondjes**. Dat zijn kleine openingen in de opperhuid (zie afbeelding 13). Bij de meeste planten zitten de huidmondjes vooral aan de onderkant van de bladeren. Naast koolstofdioxide hebben planten veel water nodig voor hun groei. Slechts een klein deel van het opgenomen water wordt gebruikt voor koolstofassimilatie en celstrekking. De rest verdampt uit de luchtholten en intercellulaire ruimten naar buiten via de huidmondjes.

▶ **Afb. 13** Doorsnede van een blad (schematisch).



▼ **Afb. 14** Huidmondje (schematisch).



Een huidmondje is omgeven door twee **sluitcellen** (zie afbeelding 14). Deze kunnen het huidmondje openen en sluiten. Op die manier kunnen planten hun waterbehoefte regelen. Door watertekort neemt de turgor (de druk op de celwand) van de sluitcellen af. De sluitcellen zakken dan in elkaar. Daardoor komen ze tegen elkaar aan te liggen. De opening tussen de sluitcellen wordt kleiner en het huidmondje gaat ten slotte dicht. De plant zal daardoor minder vocht verliezen. Als de turgor van de sluitcellen door voldoende water toeneemt, wordt de opening tussen de sluitcellen groter. Het huidmondje gaat open.

'S Nachts zijn vrijwel alle huidmondjes gesloten. Overdag staan ze bij de meeste planten open. Bij droge omstandigheden kunnen de huidmondjes ook overdag worden gesloten. Zo beperkt de plant waterverlies door verdamping. Een bijkomend effect is dat daardoor ook de intensiteit van de fotosynthese wordt beperkt.

▸▸ PRACTICUMOPDRACHT 1

opdrachten

10 In afbeelding 13 zie je de doorsnede van een blad.

a Leg uit dat het overdag sluiten van de huidmondjes de groei van planten beperkt.

b De turgor van de sluitcellen is afhankelijk van de osmotische waarde van het vacuolevocht.
Neemt de osmotische waarde van het vacuolevocht in de sluitcellen toe of af bij watertekort? Leg je antwoord uit.

c De meeste bladeren hebben een groot oppervlak voor de gaswisseling.
Waar bevindt zich dit grote oppervlak?

d Welke twee voordelen heeft dit grote oppervlak?

e Hoe is een groot gaswisselingsoppervlak bij de longen van de mens verwezenlijkt?

f Hoe is een groot gaswisselingsoppervlak bij de kieuwen van een vis verwezenlijkt? Gebruik eventueel boeken en/of internet.

g Een stofzuigerslang is voorzien van ringen, zodat hij niet dichtklapt als je gaat stofzuigen.
Leg uit hoe dit is verwezenlijkt bij de luchtpijp van de mens, de tracheeën van een insect en de houtvaten van een plant. Maak eventueel gebruik van boeken en/of internet.

11 Om te bepalen hoeveel koolstofdioxide er vroeger in de lucht zat, wordt het aantal huidmondjes per vierkante centimeter in fossiele bladeren gemeten. Het aantal huidmondjes per oppervlakte-eenheid is omgekeerd evenredig met de CO_2-concentratie in de lucht.
Is de dichtheid van huidmondjes in bladeren van de wintereik de laatste tweehonderd jaar toe- of afgenomen? Leg je antwoord uit.

CONTEXT Leefwereld

Van kwaad tot erger

COPD (Chronic Obstructive Pulmonary Disease) is een chronische longziekte. Er zijn twee vormen van COPD: chronische bronchitis en longemfyseem. Bij mensen met COPD gaat ademen moeilijk en kosten dagelijkse activiteiten veel energie. Van de 400 000 mensen in Nederland die COPD hebben, sterven er jaarlijks zo'n achtduizend als gevolg van de ziekte.
Veel mensen met COPD krijgen inhalatiemedicijnen: puffers (zie afbeelding 15). De meeste patiënten krijgen in de beginperiode van de ziekte luchtwegverwijders. Het merendeel van de patiënten krijgt ook inhalatiecorticosteroïden: ontstekingsremmers.
En daar ligt vooral het probleem, zegt longarts en onderzoeker Franssen: 'Uit de wetenschappelijke literatuur blijkt dat die inhalatiecorticosteroïden heel belangrijk zijn voor mensen met astma, een ziekte die ontstaat door de overgevoeligheid van de bronchiënwand voor bepaalde prikkels, maar bij COPD ligt het anders. Alleen in ernstige gevallen hebben die medicijnen nut. Maar in de dagelijkse praktijk krijgen óók patiënten met een milde tot matige COPD een onderhoudsbehandeling met inhalatiecorticosteroïden, met als mogelijk gevolg een dunnere huid, kwetsbaardere bloedvaten, botontkalking, schimmelinfecties in de mond en keel, en een hoger risico op longontsteking.' Franssen draait er niet omheen: de bijwerkingen van inhalatiemedicijnen tegen COPD zijn niet mis.
Bron: *de Volkskrant*, 5 maart 2016.

▼ **Afb. 15** Inhalators voor mensen met COPD.



opdracht

12 Bij het beantwoorden van de vragen kun je gebruikmaken van informatie op internet, bijvoorbeeld van het Longfonds.

- **a** Beschrijf voor beide vormen van COPD wat er aan de hand is met het ademhalingsstelsel.
- **b** Mensen met COPD hebben verschillende klachten (symptomen).
 Hoe kun je de symptomen van COPD verklaren? Leg uit wat het verband is tussen de ziekte en de symptomen.
- **c** Bijna altijd is roken de oorzaak van COPD.
 Noteer minstens drie andere oorzaken.
- **d** Een groot probleem is volgens longarts Franssen dat bijna alle studies naar inhalatiemedicatie worden gesponsord door de farmaceutische industrie.
 Onafhankelijk onderzoek is er bijna niet.
 Waardoor zou de arts dit een probleem vinden?

Leerdoelen

- Je kunt beschrijven op welke wijze longventilatie tot stand komt.
- Je kunt beschrijven hoe het longvolume verandert tijdens ventilatiebewegingen.

2 Longventilatie

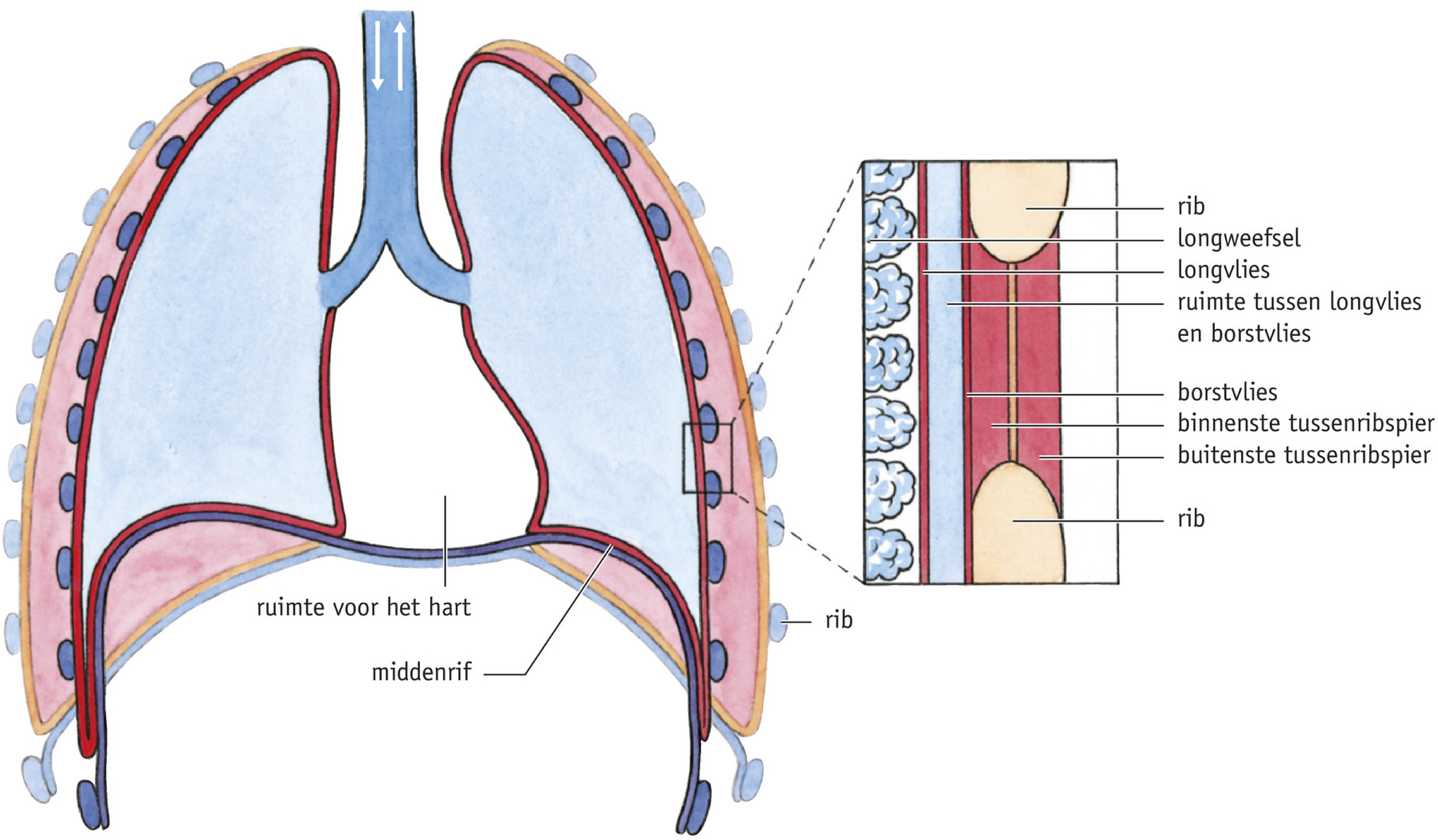
‘Hij pompte alle lucht in zijn machtige borstkas, liep rood aan, bezwijmde bijna ...’, schrijft Maarten ’t Hart in *Het longvolume*. Hij kan geen orde houden in 4 havo en laat twee raddraaiers elke les even blazen. Daar worden ze rustig van.

DE BORSTHOLTE

De longen liggen in de borstholte. De borstholte is aan de onderkant begrensd door het middenrif. Het middenrif is een koepelvormige, gespierde plaat. De zijwanden van de borstholte worden gevormd door de ribben en de binnenste en buitenste tussenribspieren (zie afbeelding 16). Elke long is omgeven door twee vliezen. Het **longvlies** ligt tegen de longen aan en is ermee vergroeid. Het **borstvlies** is vergroeid met de ribben, de binnenste tussenribspieren en het middenrif.

De ruimte tussen longvlies en borstvlies is uiterst dun. Er zit geen lucht in, maar vloeistof. Door het dunne laagje vloeistof in deze ruimte kunnen longvlies en borstvlies niet van elkaar af gaan, maar wel ten opzichte van elkaar schuiven. Hierdoor wordt voorkomen dat ruwe, plotselinge bewegingen van het bovenlichaam leiden tot scheurtjes in het tere longweefsel.
Het longweefsel is elastisch. Het verkeert in een ‘uitgerekte’ toestand doordat er door de borstkas aan wordt getrokken. Hierdoor heerst er in de ruimte tussen longvlies en borstvlies een druk die lager is dan de druk van de buitenlucht.

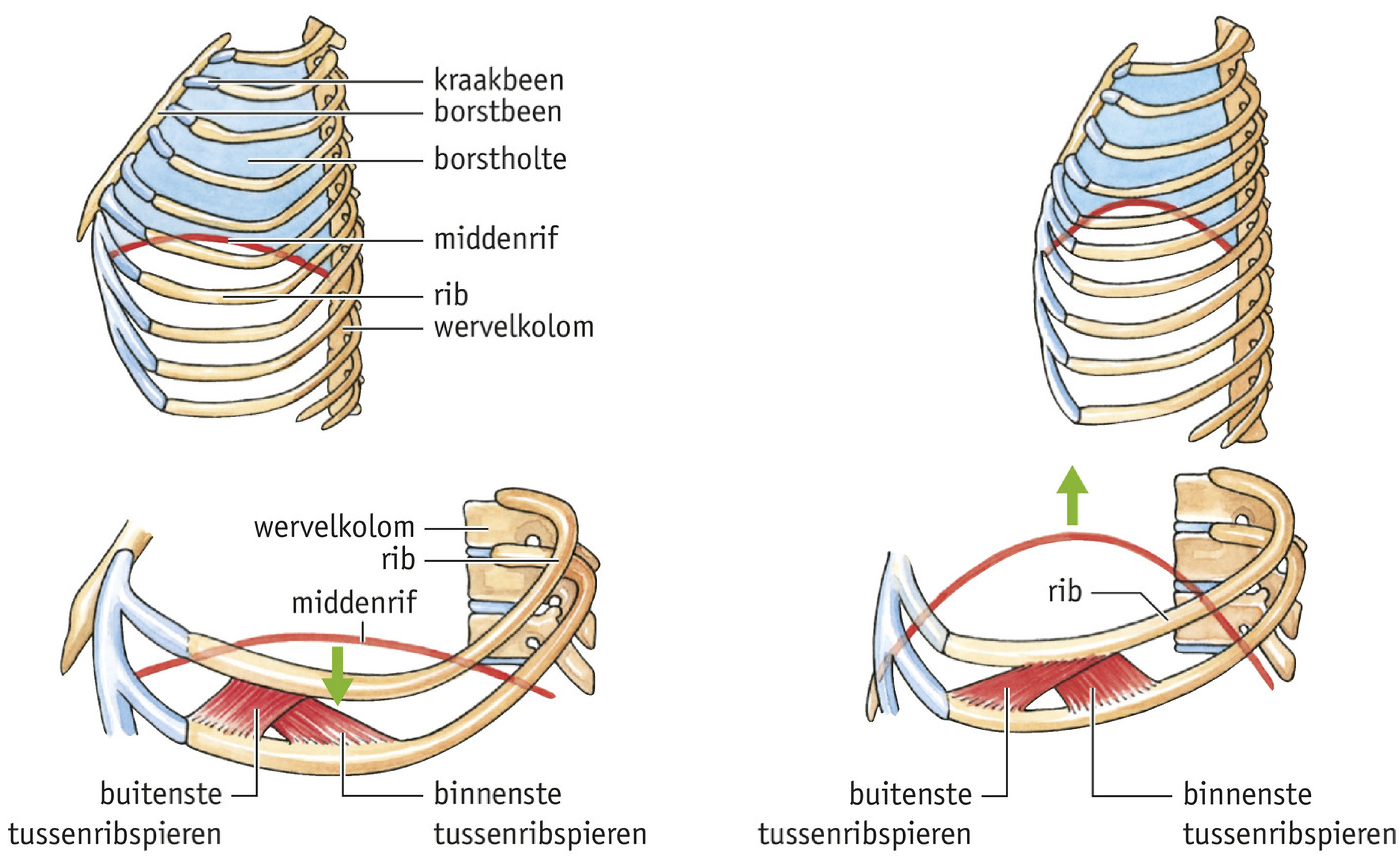
▼ **Afb. 16** Doorsnede van de borstholte met longen (schematisch).



RUSTIG IN- EN UITADEMEN

Door **ventilatiebewegingen** wordt de lucht in de longen voortdurend ververst. Daardoor worden de O_2- en CO_2-concentratie in het bloed constant gehouden. Inademingen en uitademingen komen tot stand door bewegingen van ribben, borstbeen en middenrif. Bij **ribademhaling** (of **borstademhaling**) bewegen de ribben en het borstbeen. Bij **middenrifademhaling** (of **buikademhaling**) beweegt het middenrif. Als je normaal ademhaalt, vinden de ventilatiebewegingen van ribademhaling en middenrifademhaling tegelijkertijd plaats.
Een rustige inademing komt tot stand doordat de buitenste tussenribspieren zich samentrekken. De ribben en het borstbeen worden daardoor omhoog en naar voren getrokken. Tegelijkertijd trekken de middenrifspieren zich samen. Daardoor plat het middenrif af (zie afbeelding 17), worden de organen in de buikholte weggedrukt en komt de buikwand iets naar voren. Deze bewegingen van ribben, borstbeen en middenrif veroorzaken een volumevergroting van de borstholte. Hierdoor nemen ook de longen in volume toe. Tijdens deze volumevergroting is de luchtdruk in de longen lager dan de druk van de buitenlucht. Het gevolg is dat lucht van buiten de longen in wordt gezogen.

▼ **Afb. 17** Zijaanzicht van de borstholte (schematisch).



1 inademingsstand

2 uitademingsstand

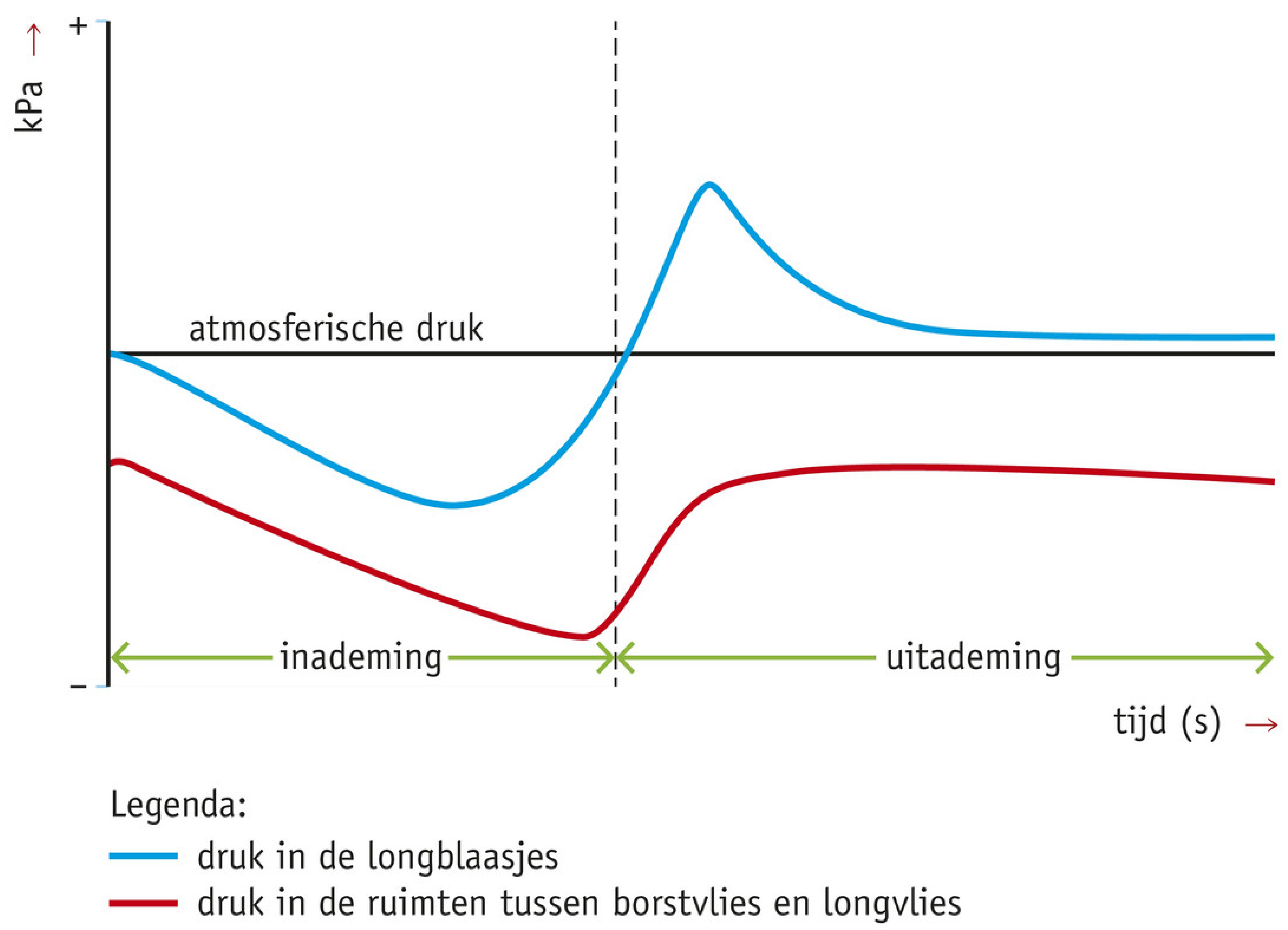
Een rustige uitademing komt passief tot stand. De spieren die een inademing hebben veroorzaakt, ontspannen zich. De veerkracht van de zijwanden van de borstholte en de elasticiteit van het longweefsel zorgen ervoor dat de ribben en het borstbeen terugkeren in hun oorspronkelijke stand. Door de elasticiteit van de buikwand en de druk in de buikholte wordt het middenrif teruggeduwd in zijn koepelvormige stand (zie afbeelding 17.2). Daardoor wordt het volume van de borstholte en de longen kleiner. Tijdens deze volumeverkleining is de luchtdruk in de longen hoger dan de druk van de buitenlucht. Hierdoor stroomt er lucht naar buiten.

DIEP IN- EN UITADEMEN

Bij een diepe inademing trekken spieren in de hals zich samen. Hierdoor gaan de ribben en het borstbeen nog verder omhoog en naar voren. Bij een diepe uitademing (bijvoorbeeld bij hoesten) trekken de binnenste tussenribspieren

zich samen. Daardoor wordt de borstkas extra klein gemaakt. Bovendien kunnen spieren in de buikwand zich samentrekken. Door de verhoogde druk in de buikholte wordt het middenrif omhooggeduwd. In afbeelding 18 is het verloop van de luchtdruk in de longblaasjes en de ruimte tussen borstvlies en longvlies schematisch weergegeven.

▶ **Afb. 18** Verloop van de luchtdruk in de longblaasjes en de ruimte tussen borstvlies en longvlies.

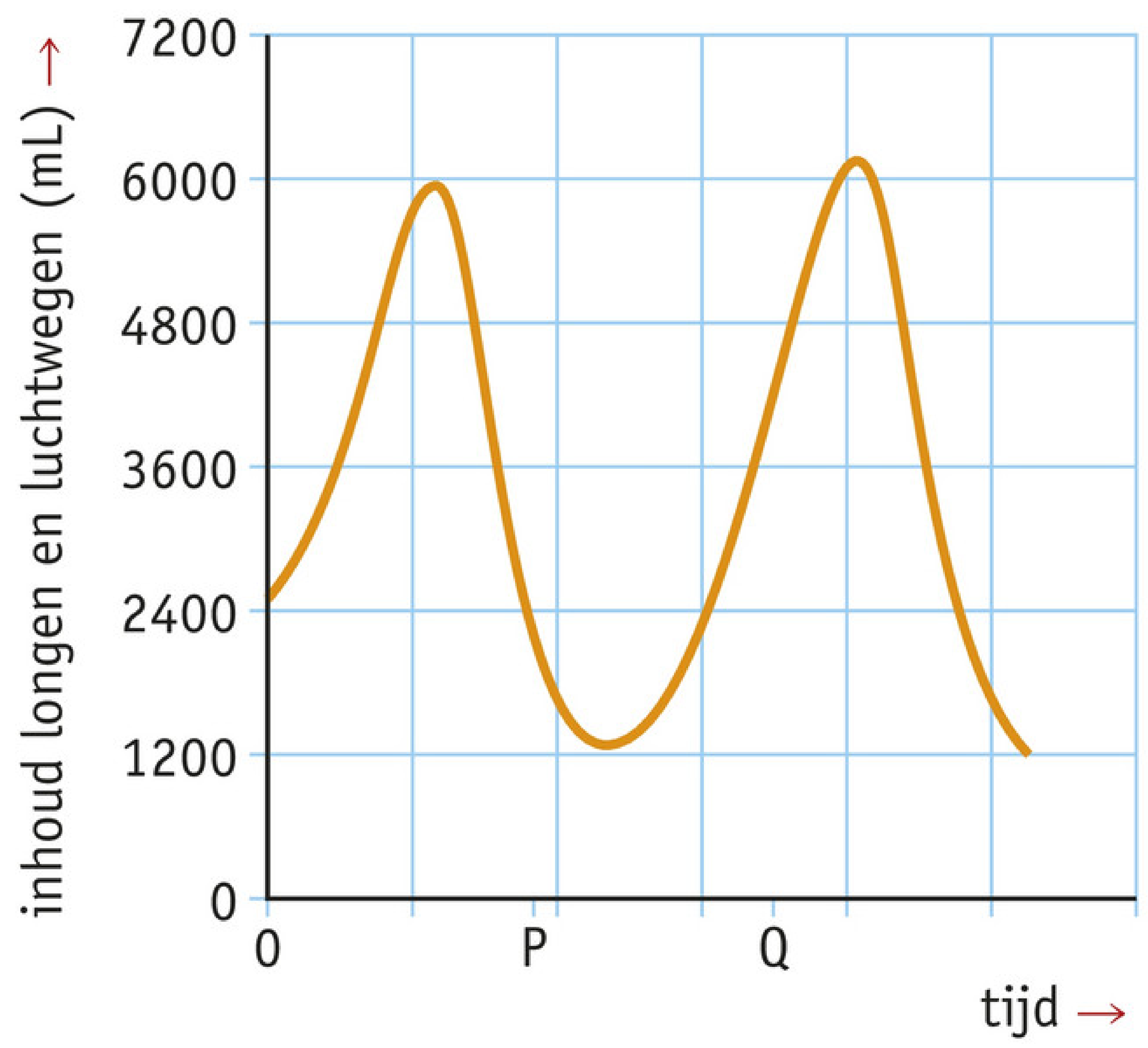


opdrachten

13 Bij een diepe inademing zijn meerdere spieren betrokken.
- **a** Welke spieren trekken zich samen bij een diepe inademing?
- **b** Vrouwen die hoogzwanger zijn, kunnen niet diep inademen. Leg dat uit.

14 Het longvolume van een rustig ademende persoon wordt gedurende enige tijd gemeten. In afbeelding 19 zijn de resultaten van deze metingen uitgezet.
- **a** Trekken spieren zich samen op tijdstip P? Leg je antwoord uit.
- **b** Is de pCO_2 in de luchtpijp op tijdstip P hoger of lager dan op tijdstip Q? Leg je antwoord uit.

▶ **Afb. 19** Resultaten van de meting.

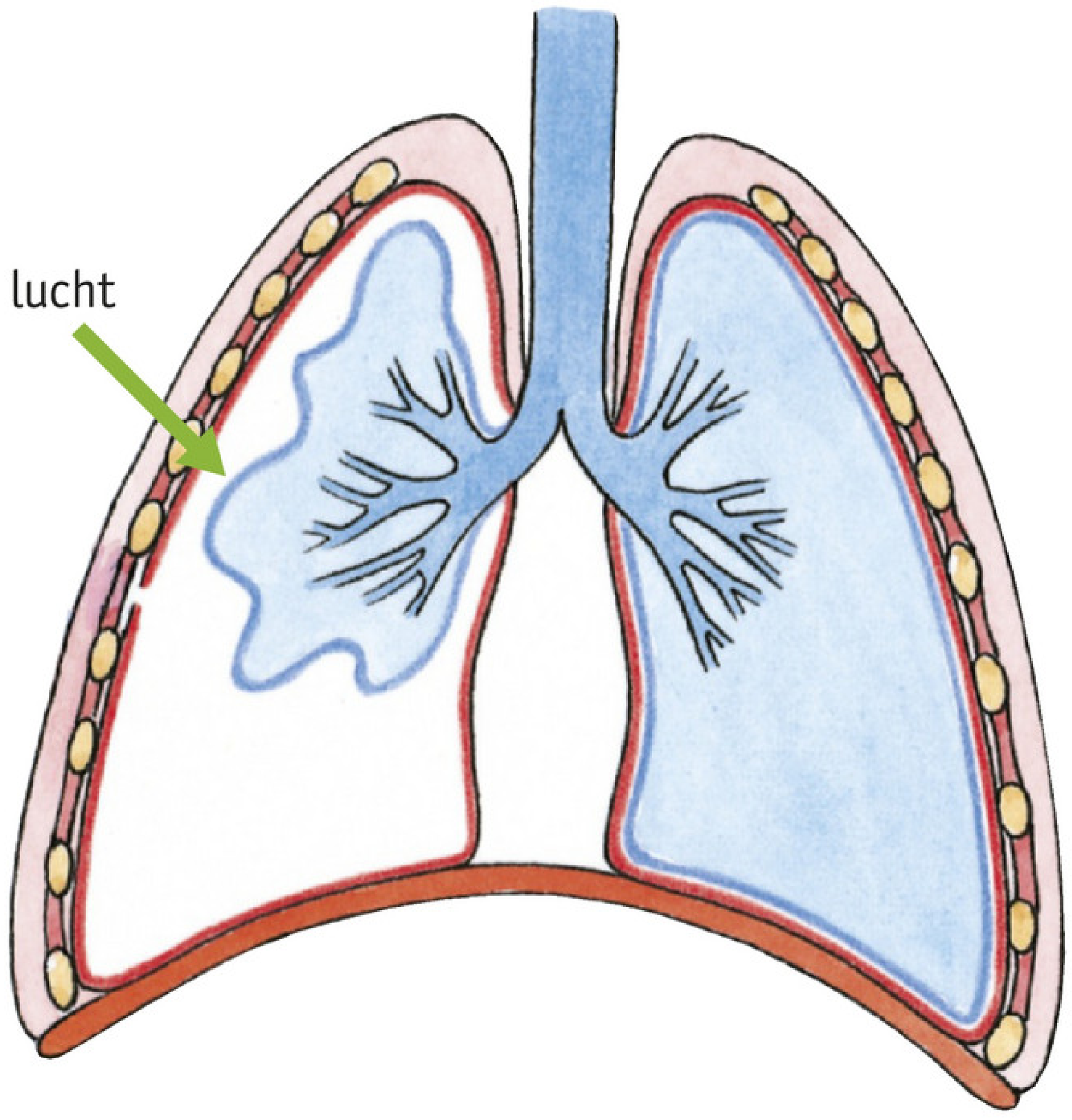


15 Als bij een long een scheurtje in het borstvlies ontstaat, komt er lucht tussen het borstvlies en longvlies. Je noemt dit een klaplong (zie afbeelding 20).

a Wat zal het gevolg zijn van een klaplong voor een inademing?

b Als iemand een klaplong heeft, kijkt de arts met een röntgenfoto of er geen ribben zijn gebroken.
Wat is de relatie tussen een ribbreuk en een klaplong?

c Waardoor klapt een long in als er lucht komt tussen borstvlies en longvlies?



▶ **Afb. 20** Een klaplong.

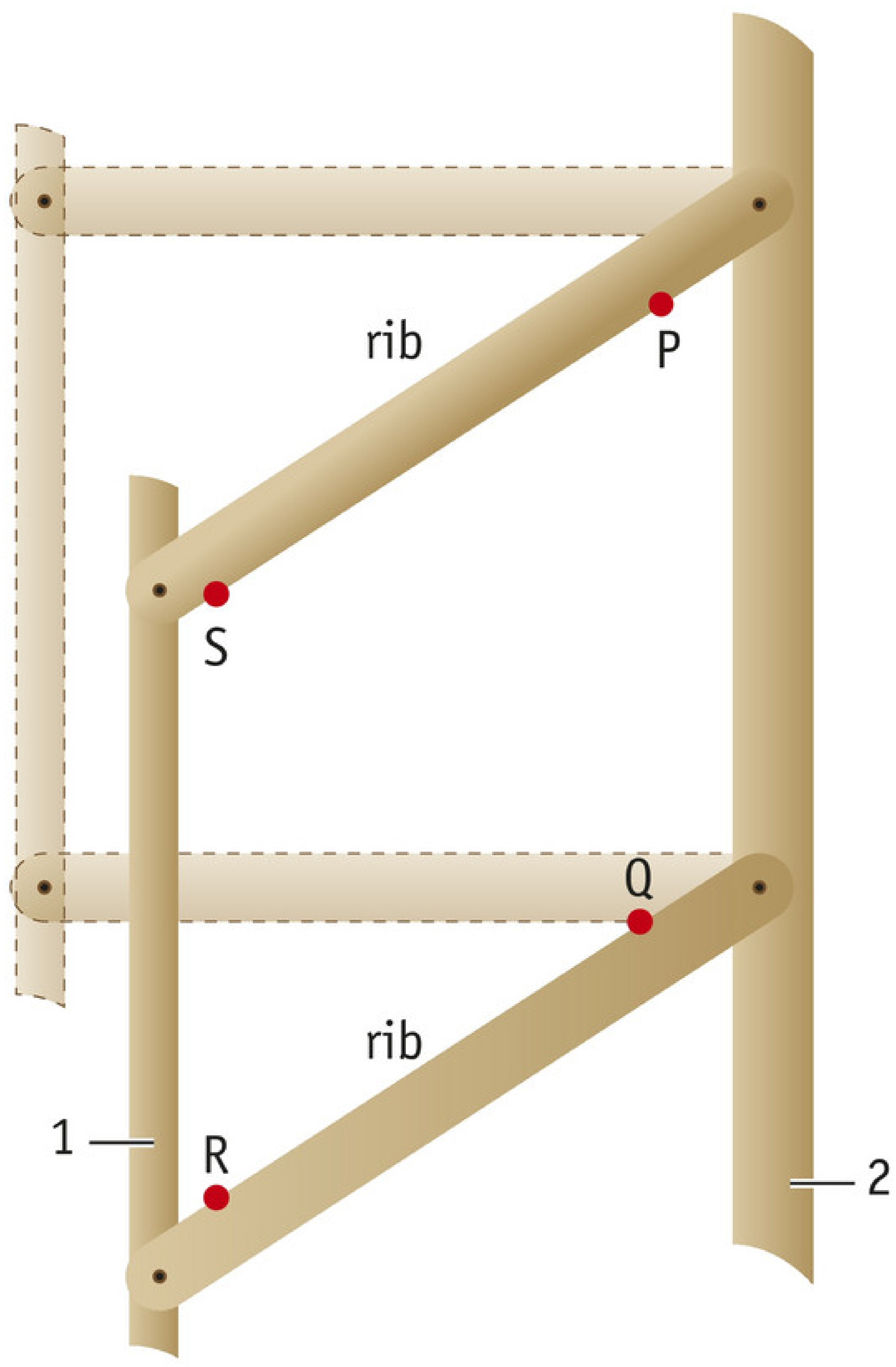
16 In afbeelding 21 is een model getekend waarmee de ventilatiebewegingen van ribben en borstbeen kunnen worden nagebootst. P, Q, R en S stellen aanhechtingsplaatsen van tussenribspieren voor.

a Benoem onderdeel 1 en 2.

b Tussen welke aanhechtingsplaatsen bevindt zich een tussenribspier die bij samentrekking een inademing veroorzaakt?

c Tussen welke aanhechtingsplaatsen bevindt zich een tussenribspier die bij samentrekking een uitademing veroorzaakt?

d Wanneer trekt de tussenribspier tussen S en Q zich samen: bij een rustige uitademing, bij een diepe uitademing of bij beide?

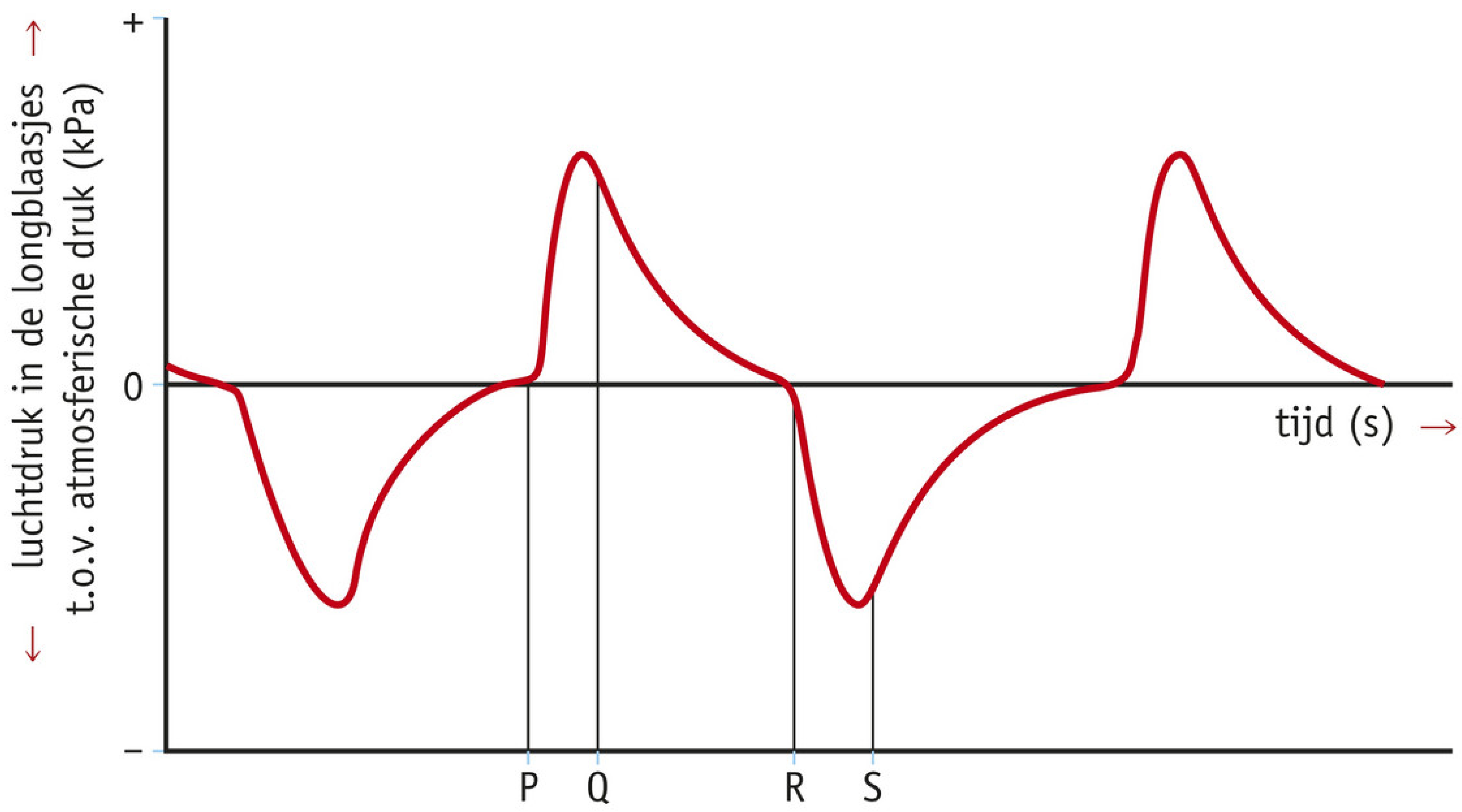


▶ **Afb. 21** Een model van ventilatiebewegingen.

17 Afbeelding 22 is een diagram van het verloop van de luchtdruk in de longblaasjes gedurende enkele opeenvolgende ventilatiebewegingen. Vier momenten zijn met letters aangegeven.

- **a** Welk moment geeft het begin van een inademing weer? Welk moment geeft het begin van een uitademing weer? Leg je antwoord uit.
- **b** Daalt of stijgt de druk in de ruimte tussen borstvlies en longvlies bij het begin van een inademing? En bij het begin van een uitademing?
- **c** Op welk moment is de druk in de ruimte tussen borstvlies en longvlies het laagst?
- **d** Op welk moment stroomt per tijdseenheid de meeste lucht de longen in? Leg uit waardoor dat komt.
- **e** Op welk moment is de zuurstofconcentratie van de lucht in de luchtpijp het hoogst?

▶ **Afb. 22** Verloop van de luchtdruk in de longblaasjes.



ADEMVOLUME

Een volwassen persoon die rustig ademhaalt, ademt per ademhaling ongeveer 0,5 L lucht in en uit. Je noemt deze hoeveelheid het **ademvolume**. Niet al deze lucht bereikt de longblaasjes. Ongeveer 150 mL lucht komt niet verder dan de **dode ruimte** (bronchiën, luchtpijp en keel- of neusholte). De lucht in de dode ruimte doet dus niet mee aan de gaswisseling bij de longblaasjes. Deze lucht wordt bij de volgende uitademing ‘ongebruikt’ weer uitgeademd. Doordat deze lucht zich mengt met uitgeademde lucht uit de longblaasjes, ontstaan verschillen in samenstelling tussen uitgeademde lucht en lucht in de longblaasjes.

Bij een maximale inademing kan gemiddeld 2,5 L lucht extra worden ingeademd. Bij een maximale uitademing kan gemiddeld 1,5 L lucht extra worden uitgeademd. Er blijft dan gemiddeld nog 1,5 L lucht in de longen achter. Deze lucht heet het **restvolume**. Dat restvolume kan wel iets kleiner worden, maar er blijft in alle gevallen lucht achter in de longen.
De hoeveelheid lucht die in één ademhaling maximaal kan worden verplaatst, heet de **vitale capaciteit**. De **longcapaciteit** (het totale longvolume) is de vitale capaciteit plus het restvolume.

▶▶ PRACTICUMOPDRACHT 2 EN 3

opdrachten

18 In afbeelding 23 is de ademfrequentie van een proefpersoon weergegeven. In de afbeelding is te zien hoe het longvolume varieert bij verschillende diepten van ademhaling.

a In het diagram zijn de trajecten P, Q, R, S en T aangegeven. Noteer wat voor ademhaling in elk van de trajecten is weergegeven.

b In welk traject hebben de binnenste tussenribspieren bijgedragen aan de ademhalingsbeweging?

c In het diagram zijn de vakjes A, B, C, D en E aangegeven. Noteer wat elk van deze vakjes weergeeft.

d Hoe groot is gemiddeld de totale longcapaciteit?

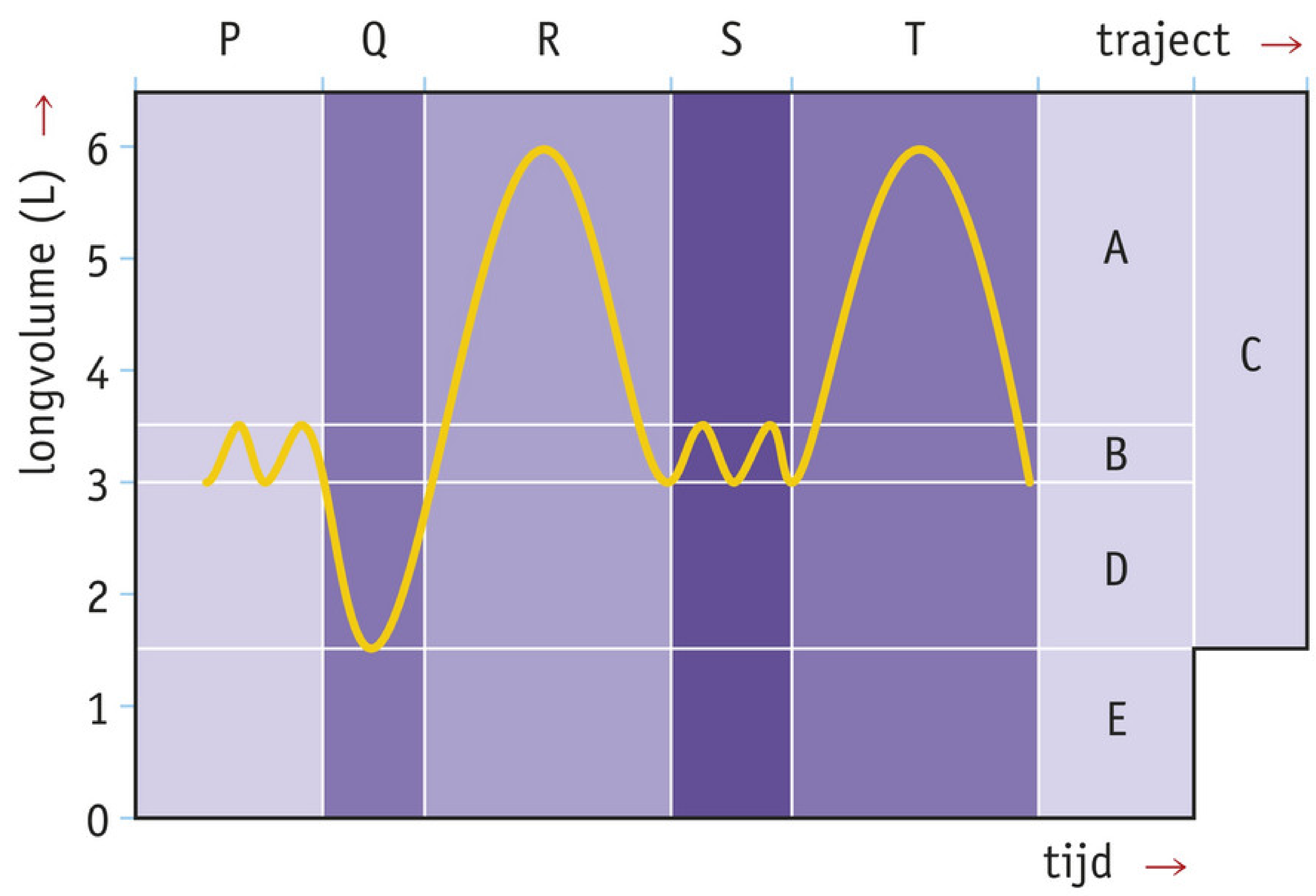
e Hoe groot is gemiddeld het minimale longvolume?

f Leg uit dat het functioneel is dat je vitale capaciteit niet even groot kan worden als je totale longvolume.

g Het ademminuutvolume is het volume lucht dat per minuut wordt ververst. In rust is dat ongeveer 6 L. Je ademt dan 12× per minuut en per ademhaling ververs je 0,5 L. Bij inspanning loopt het ademminuutvolume op, bijvoorbeeld tot 24 L.
Er zijn drie mogelijkheden:
- je ademt sneller, maar het ademvolume blijft gelijk;
- je ademt dieper, maar de ademfrequentie blijft gelijk;
- je ademt sneller en dieper.

Geef bij elke mogelijkheid een berekening voor een ademminuutvolume van 24 L.

Afb. 23 Ademfrequentie van een proefpersoon.



19 Als droge buitenlucht wordt ingeademd, wordt deze altijd verzadigd met waterdamp.

a Drie delen van het ademhalingsstelsel zijn de neusholte, de mondholte en de luchtpijp. In welke van deze delen neemt de lucht waterdamp op?

b De gemiddelde samenstelling van de uitgeademde lucht verschilt vrij sterk van die in de longblaasjes. Geef de twee belangrijkste verschillen in samenstelling en noteer de oorzaak van beide verschillen.

20 In afbeelding 24 is een onderzoek beschreven naar de relatie tussen longvolume en conditie bij leerlingen.

a Trek een conclusie aan de hand van deze resultaten. Laat zien hoe je tot je conclusie bent gekomen.

b Kun je de hypothese verwerpen of niet? Leg uit waarom je hem wel of niet kunt verwerpen.

▼ **Afb. 24**

ONDERZOEK	**LONGVOLUME EN CONDITIE**
Inleiding	Een aantal leerlingen doet een onderzoek naar hun longvolume. Zij vermoeden dat de grootte van het longvolume samenhangt met de conditie.
Onderzoeksvraag	Hangt het longvolume samen met de conditie?
Hypothese	Naarmate de conditie beter is, zal het longvolume groter zijn.
Experiment	Om de mate van conditie te bepalen, vullen de leerlingen een lijst in. Hierop geven ze zelf aan wat hun conditie is. Een 1 staat voor een goede conditie, een 2 voor een minder goede conditie. Om hun longvolume te bepalen, blazen ze maximaal uit in een spirometer.
Resultaat	(zie tabellen hieronder)
Conclusie	

Naam	Conditie	Longvolume (L)
Daniël	1	2,5
Dominique	1	2,3
George	2	2,7
Gijs	2	3,1
Ilse	1	3,2
Isabella	1	3,9
Layan	2	2,1
Linda	1	2,8

Naam	Conditie	Longvolume (L)
Lineke	1	3,0
Majorie	2	3,4
Patrik	2	3,1
Robin	1	3,8
Ruud	2	3,2
Vlado	2	3,5
Zein	1	3,6

CONTEXT Leefwereld

'Mijn lichaam heeft geen energie meer'

Hij wist zelf donders goed dat het bereiken van de top pas het halve werk was. Tijdens de uitputtende afdaling, het hoofd vol euforie vanwege het bereiken van het hoogste punt, kan het ook nog helemaal misgaan. Eric Arnold (36 jaar) overkwam het.
Hoogteziekte kan de best getrainde atleet overkomen. Met een fles zuivere zuurstof en bepaalde medicamenten kunnen de symptomen deels worden bestreden. Eric Arnold had zich goed voorbereid. Na een acclimatisatietocht van dagen om aan het zuurstoftekort te wennen, bereikte hij op 20 mei 2016 zuchtend en hijgend de top van 8848 meter. Daar zag hij wat hij zijn hele leven wilde zien: de Himalaya, vanaf het hoogste punt. Het uitzicht was waanzinnig. Tijdens de afdaling bezweek Eric Arnold.
Bron: 'De laatste beklimming van Eric Arnold', *de Volkskrant*, 22 mei 2016.

opdrachten

21 Normaal adem je ongeveer 15× per minuut.

a Stel dat je per ademhaling 0,5 mL in- en uitademt.
Bereken de hoeveelheid lucht die per minuut beschikbaar is voor de gaswisseling.

b Bij een verblijf op grote hoogte (tot 5500 m) past het lichaam zich aan de omstandigheden aan. Zo wordt de longventilatie versneld.
Stel dat de snelheid waarmee je ademt, wordt versneld tot 30× per minuut en dat het ademvolume hetzelfde blijft.
Bereken de hoeveelheid lucht die dan per minuut beschikbaar is voor de gaswisseling.

c In plaats van sneller te ademen, kun je ook dieper ademen.
Stel dat de ademfrequentie hetzelfde blijft (15× per minuut), maar dat het ademvolume 1,0 L is.
Bereken de hoeveelheid lucht die in dat geval per minuut beschikbaar is voor de gaswisseling.

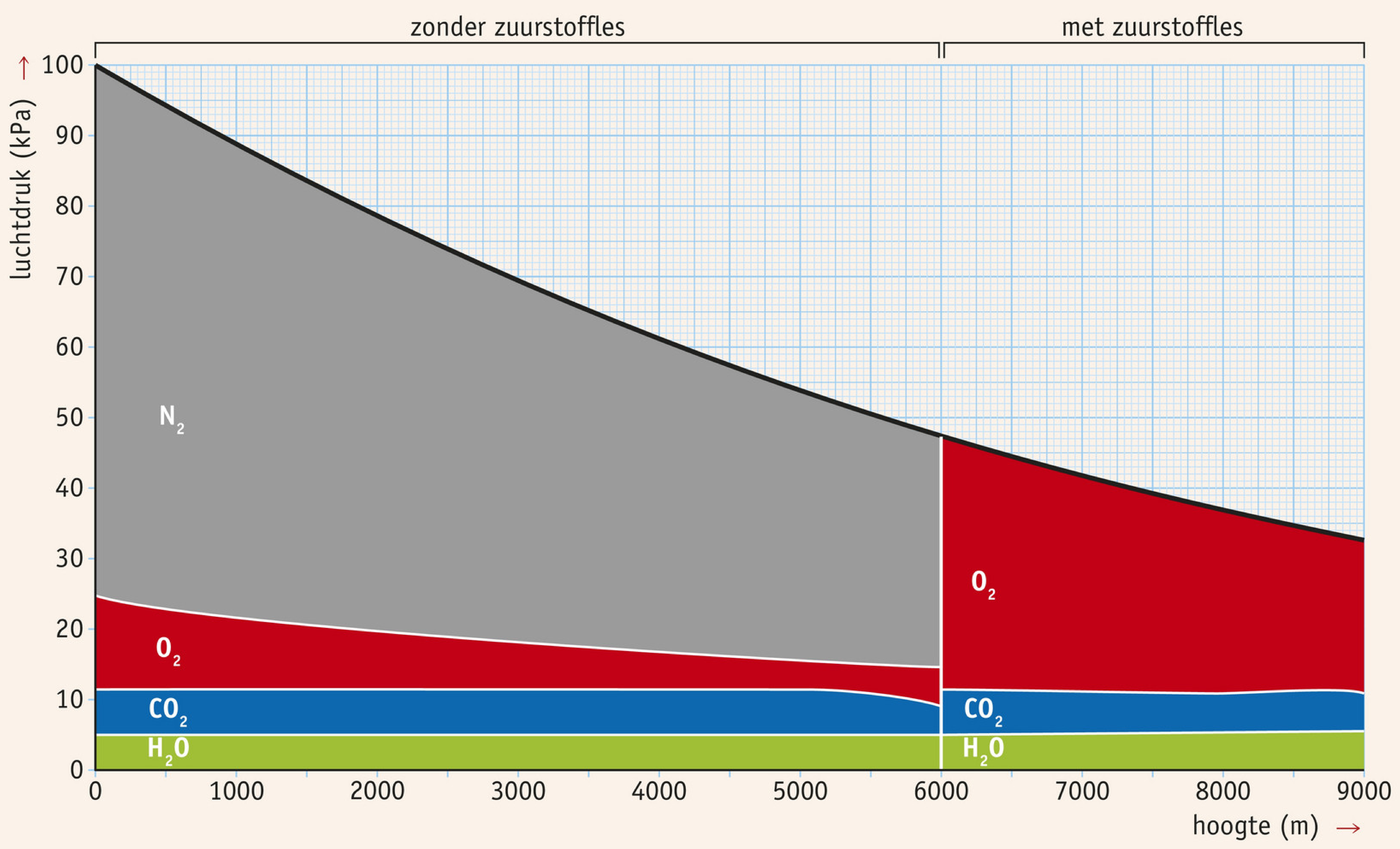
d Uit het voorgaande blijkt dat je beter dieper dan sneller kunt ademen, om voldoende zuurstof te krijgen.
Leg uit waardoor dit verschil wordt veroorzaakt.

22 In afbeelding 25 is in een diagram de luchtdruk op verschillende hoogten weergegeven. De samenstelling van de lucht in de longblaasjes bij een bergbeklimmer is ook weergegeven. Op 6000 m hoogte is de pO_2 ongeveer 5 kPa. Een lagere pO_2 is dodelijk. Tot 6000 m zit er stikstof in de lucht in de longblaasjes, doordat een bergbeklimmer tot die hoogte de buitenlucht inademt. Daarboven moet hij met een zuurstoffles klimmen en zit er geen stikstof meer in zijn lucht in de longblaasjes.

a Eric Arnold is niet gestorven door zuurstofgebrek. Leg dit uit.

b Waaraan is Eric Arnold wel gestorven? Leg dit uit en gebruik hierbij het volgende gegeven: De bloeddruk op grote hoogte is vrijwel gelijk aan die op zeeniveau.

▼ **Afb. 25** De luchtdruk (kPa; zwarte lijn) en de partiële druk van de gassen in de longblaasjes (kPa) op verschillende hoogten.



Leerdoelen
- Je kunt de bouw, werking en functies van de lever beschrijven.
- Je kunt uitleggen hoe het interne milieu min of meer constant wordt gehouden door de lever.

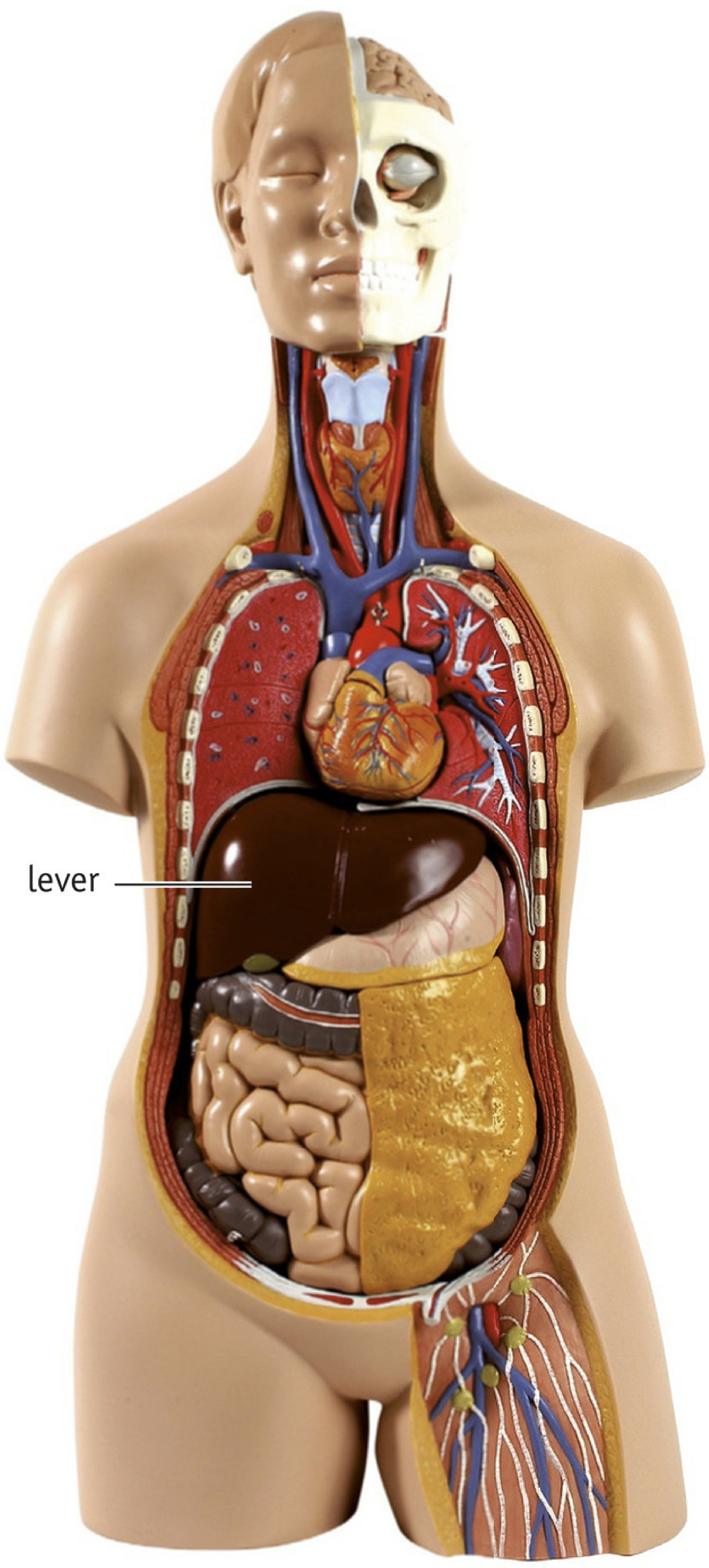
3 De lever

Orgaanvlees, zoals kalfslever, staat bij de beste restaurants op de menukaart. Lever bevat veel vitamine A en ijzer. Je kunt het gerust af en toe eten, maar niet te vaak. De lever is een opslagplaats voor gifstoffen.

DE BOUW VAN DE LEVER
De **lever** ligt rechtsboven in de buikholte tegen het middenrif aan (zie afbeelding 26). De lever bestaat uit heel veel, zeshoekige **leverlobjes** van ongeveer één millimeter in doorsnede. Op de hoekpunten van een leverlobje zitten aftakkingen van de poortader en de leverslagader. Op deze plaatsen zitten ook aftakkingen van de **galgang** (zie afbeelding 27). In het midden van een leverlobje zit een aftakking van de leverader.

HOMEOSTASE
Het bloed van de poortader en leverslagader komt vanuit de aftakkingen op de hoekpunten terecht in ruimten tussen de cellen van een leverlobje. De levercellen nemen stoffen uit het bloed op en geven stoffen aan het bloed af. Het bloed stroomt naar het midden van een leverlobje en wordt via de aftakking van de leverader afgevoerd.
Doordat het bloed uit een groot deel van het darmkanaal via de poortader naar de lever stroomt, kan de lever controle uitoefenen op de samenstelling van het bloedplasma. De lever speelt een belangrijke rol bij de homeostase. Door het omzetten van stoffen en door opslag en uitscheiding van stoffen zorgt de lever voor een min of meer constant intern milieu.

▼ **Afb. 26** De ligging van de lever.

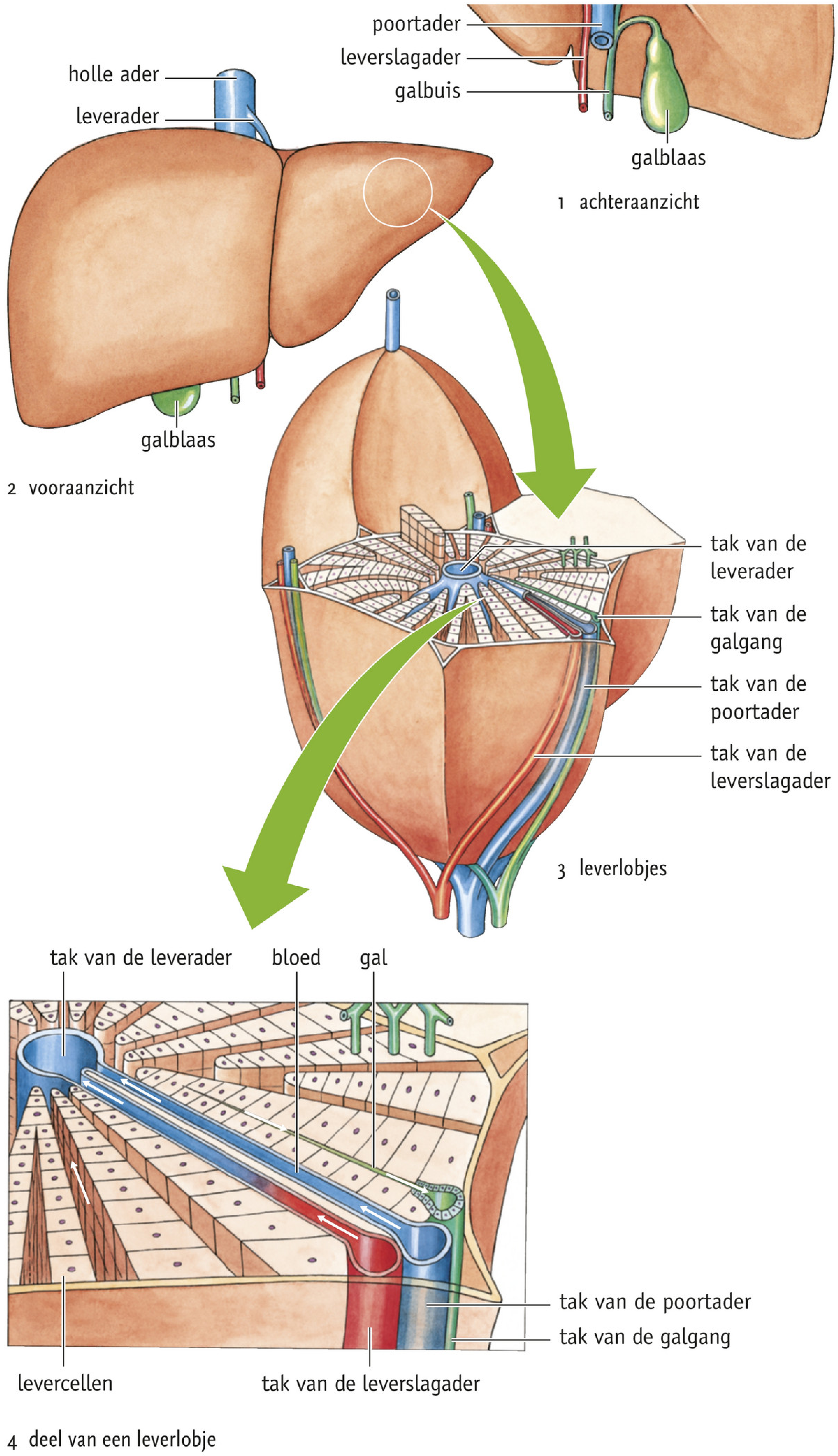


▸▸ PRACTICUMOPDRACHT 4

EMULGEREN EN AFBRAAK VAN BLOEDCELLEN
De cellen van de lever produceren **gal**. Gal bevat onder andere water en galzuren. Galzuren emulgeren vetten en oliën. De gal stroomt in de richting van de hoekpunten en wordt via de fijne vertakkingen van de galgang afgevoerd. De gal wordt verzameld en tijdelijk opgeslagen in de **galblaas** (zie afbeelding 27). Via de galbuis komt de gal terecht in de twaalfvingerige darm.
De lever is ook betrokken bij de afbraak van verouderde en beschadigde rode bloedcellen. Bij de afbraak van hemoglobine uit dode rode bloedcellen ontstaat bilirubine. Bilirubine wordt door de lever via de galwegen uitgescheiden en geeft de bruine kleur aan de ontlasting. Bij de afbraak van hemoglobine komt ook ijzer vrij. Dit ijzer wordt vooral in de lever opgeslagen.

KOOLHYDRAAT-, EIWIT- EN VETSTOFWISSELING
De lever speelt een rol bij de koolhydraatstofwisseling. De lever slaat glucose op in de vorm van glycogeen en maakt dit weer vrij zodra dat nodig is. De lever heeft ook functies bij de eiwitstofwisseling. Daarbij worden in de lever eiwitten gevormd uit aminozuren. Aminozuren die in het darmkanaal in het bloed zijn opgenomen, worden via de poortader naar de lever vervoerd. Een deel van deze aminozuren zal onveranderd weer worden afgevoerd via de leverader. Een ander deel wordt gebruikt om eiwitten van te maken.
Overtollige aminozuren kunnen in de lever worden afgebroken. Van de aminozuren wordt daarbij de stikstofgroep afgesplitst en omgezet in ammoniak. Ammoniak is

▶ **Afb. 27** De bouw van de lever.



in geringe concentratie al giftig. In de lever wordt ammoniak omgezet in **ureum**. Ureum wordt aan het bloed afgegeven en door de nieren uitgescheiden.
Bij de vetstofwisseling in de lever worden onder andere niet-essentiële vetzuren gevormd uit andere vetzuren, aminozuren, of monosachariden zoals glucose. Een beperkte hoeveelheid vet kan in de lever worden opgeslagen.

GIFSTOFFEN

Bij het ontgiften van het bloed haalt de lever gifstoffen en andere lichaamsvreemde stoffen (bijvoorbeeld alcohol, drugs en medicijnen) uit het bloed en maakt ze onwerkzaam. Een deel van deze stoffen wordt door de lever afgebroken en door de nieren uitgescheiden.
Sommige gifstoffen kunnen niet onwerkzaam worden gemaakt. Een deel van deze gifstoffen wordt opgeslagen in de lever, de huid en de haren (bijvoorbeeld kwik en arsenicum).

opdrachten

23 De lever is net als de longen, de nieren en de huid een uitscheidingsorgaan.

a De endeldarm wordt niet beschouwd als een uitscheidingsorgaan. Leg dit uit.

b Wanneer de galwegen verstopt zijn, ontstaat een gele huid en een gelig oogwit (geelzucht).
Leg uit waardoor dit verschijnsel ontstaat.

c Een ander gevolg van verstopte galwegen is dat de ontlasting vettig is.
Leg uit waardoor dit komt.

24 Een van de gevolgen van overmatig alcoholgebruik is levercirrose. De meeste levertransplantaties worden uitgevoerd bij mensen met levercirrose.

a Vind jij dat iemand die levercirrose heeft doordat hij te veel heeft gedronken in aanmerking komt voor een donorlever? Bespreek dit met een klasgenoot en noteer jullie conclusie.

b In 2016 werd in de Tweede Kamer een nieuwe donorwet aangenomen met een verschil van maar één stem. In de nieuwe wet staat dat iedere Nederlander donor is, tenzij hij of zij bezwaar maakt. Kamerlid Helène Dupuis stemde tegen het wetsvoorstel. Zij stelde dat het in tegenspraak was met artikel 11 van de Grondwet: ‘Ieder heeft, behoudens bij of krachtens de wet te stellen beperkingen, recht op onaantastbaarheid van zijn lichaam.’
Zou jij voor of tegen het wetsvoorstel stemmen? Beargumenteer je antwoord.

25 Beantwoord de vragen over het onderzoek in afbeelding 28.

a Volgens de reactievergelijking ontstaat zuurstof bij de afbraak van waterstofperoxide.
Hoe kun je deze zuurstof aantonen?

b Welke conclusie kun je trekken uit de resultaten van het onderzoek?

c Bevestigt het resultaat de hypothese?

▸▸ PRACTICUMOPDRACHT 5

▼ **Afb. 28**

ONDERZOEK	WATERSTOFPEROXIDE EN KATALASE EN LEVER
Inleiding	Bij verschillende stofwisselingsprocessen ontstaat waterstofperoxide (H_2O_2). Dit is een schadelijke stof. Eukaryote cellen bevatten het enzym katalase. Waterstofperoxide wordt afgebroken onder invloed van katalase waarbij water en zuurstof ontstaan: $2\ H_2O_2 \rightarrow 2\ H_2O + O_2$
Onderzoeksvraag	Wordt waterstofperoxide afgebroken door de levercellen van een varken?
Hypothese	Alle soorten organismen breken waterstofperoxide af.
Experiment	Een reageerbuis wordt gevuld met water en een stukje varkenslever. Een andere reageerbuis wordt gevuld met water. Aan beide buizen wordt vervolgens 5 mL waterstofperoxide toegevoegd.
Resultaat	In de buis met het stukje lever begint de inhoud te bruisen. Na verloop van tijd houdt het bruisen op. In de buis zonder lever vindt geen reactie plaats.
Conclusie	

CONTEXT Wetenschap

De Aziatische gloed

▼ **Afb. 29** De Aziatische gloed.



Bij veel Aziaten wordt alcohol een stuk efficiënter door de lever afgebroken dan bij Europeanen. Dat lijkt mooi, maar het probleem is dat de stof die daarbij ontstaat, nog giftiger is dan alcohol. Het is de stof aceetaldehyde, die zorgt voor het 'katergevoel'. Maar het is nog erger. Bij Europeanen wordt die giftige stof vervolgens omgezet in het onschuldige acetylco-enzym A (acetyl-CoA). Bij veel Chinezen, Japanners en Koreanen gebeurt dat onvoldoende, omdat zij een mutatie hebben. Eén glas alcohol is dan al voldoende om je compleet onwel te laten voelen en je een rood hoofd te bezorgen. Vandaar: de Aziatische gloed.

opdracht

26 In China en Japan wordt relatief weinig alcohol gedronken.

- **a** Geef hiervoor een verklaring.
- **b** In Maleisië is het drankgebruik 1,7 L per persoon per jaar, terwijl dat in buurland Thailand 8,3 L is.
 Geef een verklaring voor dit verschil.
- **c** In Zuid-Korea is het drankgebruik 10,9 L per persoon per jaar. Dat is een stuk hoger dan het wereldgemiddelde van 6,3 L.
 Geef hiervoor een mogelijke verklaring.
- **d** Je kunt de mutatie die voorkomt onder Aziaten zien als een evolutionair voordeel. Leg dit uit.

Leerdoelen

- Je kunt de bouw, werking en functies van de nieren en de urinewegen beschrijven.
- Je kunt uitleggen hoe het interne milieu min of meer constant wordt gehouden door de nieren.

4 De nieren

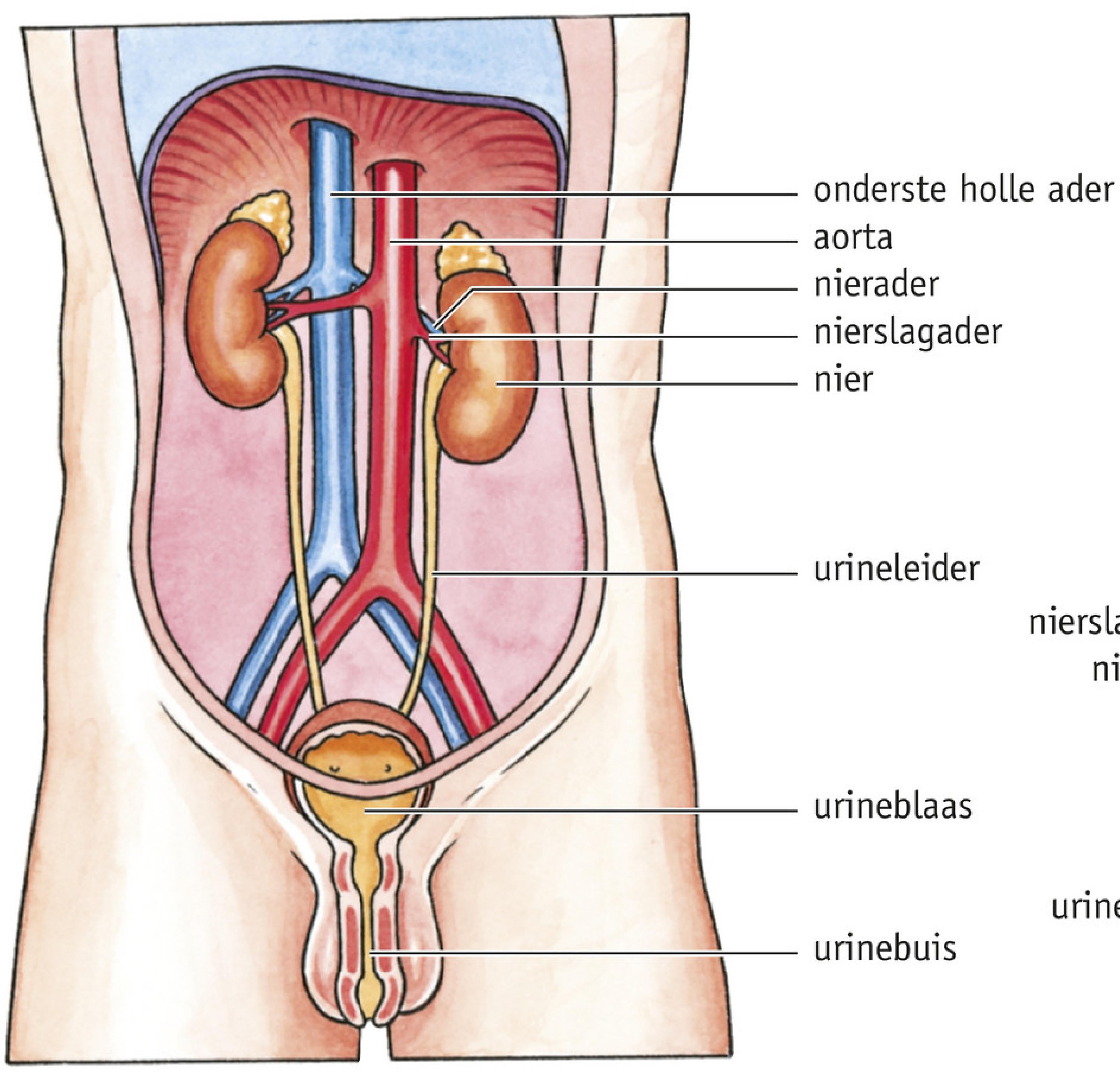
'Alles is giftig en niets is zonder gif.' Dat zei arts en theoloog Paracelsus (1493–1541). Hij hield zich bezig met alchemie en astrologie. Is water dan ook giftig? Ja, maar het hangt er wel van af hoeveel je ervan binnenkrijgt.

DE BOUW VAN DE NIEREN

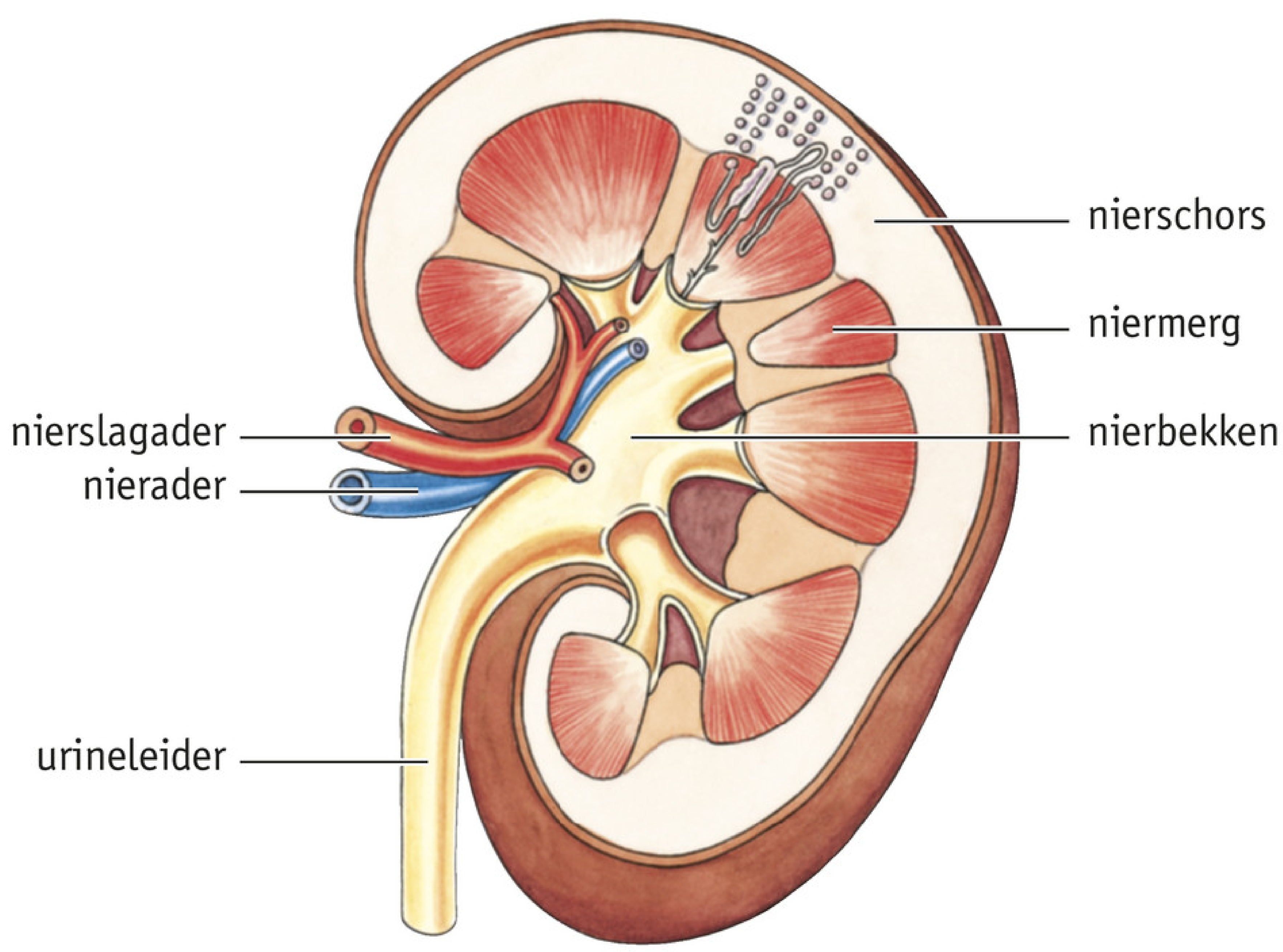
De **nieren** liggen in de buikholte links en rechts van de wervelkolom (zie afbeelding 30). Door de nierslagaders stroomt zuurstofrijk bloed naar de nieren. Dit bloed bevat onder andere overtollige en schadelijke stoffen. De nieren verwijderen deze stoffen uit het bloed. Door de nieraders stroomt het bloed weg uit de nieren.

Een nier bestaat uit drie delen: de **nierschors**, het **niermerg** en het **nierbekken** (zie afbeelding 31). In de nierschors en het niermerg wordt de **urine** gevormd. Urine bestaat uit water, zouten en de schadelijke stoffen die uit het bloed zijn verwijderd. Via de **urineleiders** wordt de urine afgevoerd naar de **urineblaas**. In de urineblaas wordt de urine tijdelijk opgeslagen. Van tijd tot tijd wordt de urine uit de urineblaas afgevoerd via de **urinebuis**. In het nierbekken wordt de urine verzameld.

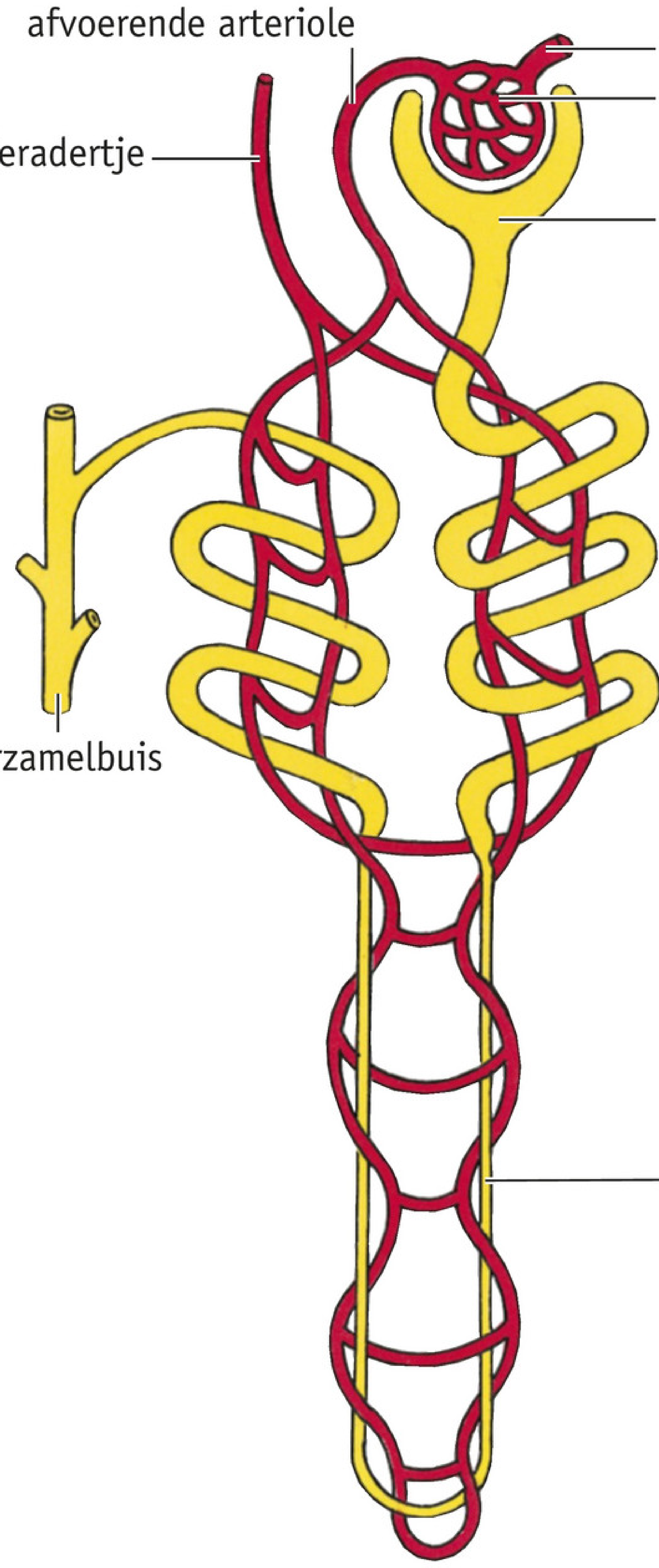
▼ **Afb. 30** De nieren en de urinewegen.



▼ **Afb. 31** De bouw van een nier.



In de nierschors en het niermerg liggen per nier ongeveer een miljoen niereenheden. Een **niereenheid** bestaat voor het grootste deel uit een **nierbuisje** of nierkanaaltje (zie afbeelding 32). In de nierbuisjes wordt de urine gevormd. De nierbuisjes monden uit in **verzamelbuisjes**. Via de verzamelbuisjes komt de urine in de nierbekkens terecht.



▶ **Afb. 32** Een niereenheid.

Een nierbuisje bestaat uit twee gekronkelde delen en een lus: de **lis van Henle**. Aan het begin van het nierbuisje zit een **nierkapsel**: het **kapsel van Bowman**. Je kunt een nierkapsel vergelijken met een zeef: er zit een groot aantal gaatjes in. Een aanvoerend slagadertje, een vertakking van de nierslagader, vertakt zich in het nierkapsel verder tot een kluwen van haarvaten (de glomerulus). De haarvaten verenigen zich weer tot een afvoerend slagadertje. Deze vertakt zich tot een haarvatennet om het nierbuisje. De haarvaten verenigen zich daarna tot een nieradertje. De nieradertjes verenigen zich tot de nierader.

DE VORMING VAN URINE

De diameter van de afvoerende slagadertjes is kleiner dan die van de aanvoerende slagadertjes. Hierdoor is de bloeddruk in de haarvatenkluwens in de nierkapsels zó hoog, dat vanuit die haarvaten voortdurend een deel van het bloedplasma in de nierkapsels wordt geperst. Grote moleculen kunnen hier niet doorheen. Alleen kleine moleculen kunnen door de gaatjes in de wand van de nierkapsels. Dit proces heet **ultrafiltratie**. Het vocht in de nierkapsels noem je **voorurine**. Voorurine bevat onder andere glucose, ionen (natrium, chloor, calcium en kalium) en ureum, maar geen eiwitten of bloedcellen (zie afbeelding 33).

▶ **Afb. 33** Enkele stoffen in bloedplasma, voorurine en urine.

	Bloedplasma (g/100 mL)	Voorurine (g/100 mL)	Urine (g/100 mL)
Eiwitten	7,5	0	0
Glucose	0,1	0,1	0
Na^+	0,4	0,4	0,35
Cl^-	0,36	0,36	0,6
Ca^{2+}	0,01	0,01	0,03
K^+	0,02	0,02	0,15
Ureum	0,03	0,03	2,0

De nieren zijn zeer sterk doorbloed. Per minuut stroomt er ongeveer 1,2 L bloed door de nieren. Uit elke liter wordt 125 mL filtraat gemaakt. Dat betekent per dag 180 L voorurine. Uiteindelijk blijft daarvan ongeveer 1,5 L urine over.

De omzetting van voorurine in urine vindt plaats in de nierbuisjes en de verzamelbuisjes. Water en andere nuttige stoffen, zoals glucose en aminozuren, worden selectief uit de voorurine gehaald (zie afbeelding 33). De cellen van de wand van de nierbuisjes nemen de opgeloste nuttige stoffen op uit de voorurine en geven ze af aan de weefselvloeistof tussen de niereenheden. Van daaruit gaan de stoffen naar de bloedvaten rondom de nierbuisjes. Dit proces vindt plaats door middel van actief transport. Het kost dus energie. Het wordt **terugresorptie** genoemd. De cellen zelf worden van voedingsstoffen en zuurstof voorzien door het bloed in de haarvatennetten. De wandcellen van de lissen van Henle dragen slechts weinig bij aan de terugresorptie. De activiteiten van deze wandcellen zijn wel belangrijk bij het concentreren van de urine.

Bij de terugresorptie transporteren de cellen van de nierbuisjes de opgeloste nuttige stoffen niet alleen naar het bloed, maar ook naar het nierweefsel tussen de haarvaten. Mede hierdoor wordt de osmotische waarde in het binnenste deel van het niermerg drie- tot viermaal zo hoog als de osmotische waarde in de nierschors. Hierdoor ontstaat een groot concentratieverschil tussen de inhoud van de verzamelbuisjes en het omringende weefsel. Als gevolg hiervan wordt door osmose water onttrokken aan de (voor)urine in de verzamelbuisjes tijdens het transport naar het nierbekken.

opdrachten

27 De cellen van de nierkapsels leveren geen energie voor de ultrafiltratie, waarbij voorurine wordt gevormd.

- **a** Welke kracht veroorzaakt dan de vorming van voorurine?
- **b** Waar komt de energie vandaan voor de vorming van urine uit voorurine?
- **c** Iemand produceert tijdelijk meer voorurine dan normaal. Dit is het gevolg van een vernauwing van bepaalde bloedvaten.
 Treedt deze vernauwing op bij het aanvoerende of afvoerende slagadertje? Leg je antwoord uit. Gebruik hierbij afbeelding 32.
- **d** Door het aanvoerende slagadertje, het afvoerende slagadertje en het adertje stroomt per minuut een hoeveelheid bloed die niet gelijk is.
 Zet deze bloedvaten in de juiste volgorde, van het bloedvat waar de grootste hoeveelheid bloed doorheen stroomt naar het bloedvat waar de kleinste hoeveelheid bloed doorheen stroomt. Gebruik afbeelding 32.

28 Bij de vorming van urine wordt water aan de voorurine onttrokken.
- **a** Door welk proces gebeurt dit?
- **b** Wordt de afwezigheid van eiwitten in de urine veroorzaakt door terugresorptie? Leg je antwoord uit.
- **c** Wordt de afwezigheid van glucose in de urine veroorzaakt door terugresorptie? Leg je antwoord uit.
- **d** Uit afbeelding 33 blijkt dat de ureumconcentratie in de voorurine lager is dan in de urine.
 Leg uit waardoor dit komt.
- **e** Hoeveel maal geconcentreerder is de urine, als je de ureumconcentratie vergelijkt met die in de voorurine?
- **f** Hoeveel maal geconcentreerder is de urine, als je de Ca^{2+}-concentratie vergelijkt met die in de voorurine?
- **g** Verklaar het verschil tussen antwoord e en antwoord f.

29 De nierbuisjes van zoogdieren die in zee leven en zoogdieren die in zoet water leven, worden met elkaar vergeleken.
Welke nierbuisjes zullen (gerelateerd aan de lichaamsgrootte) langer zijn?
Leg je antwoord uit.

HOMEOSTASE

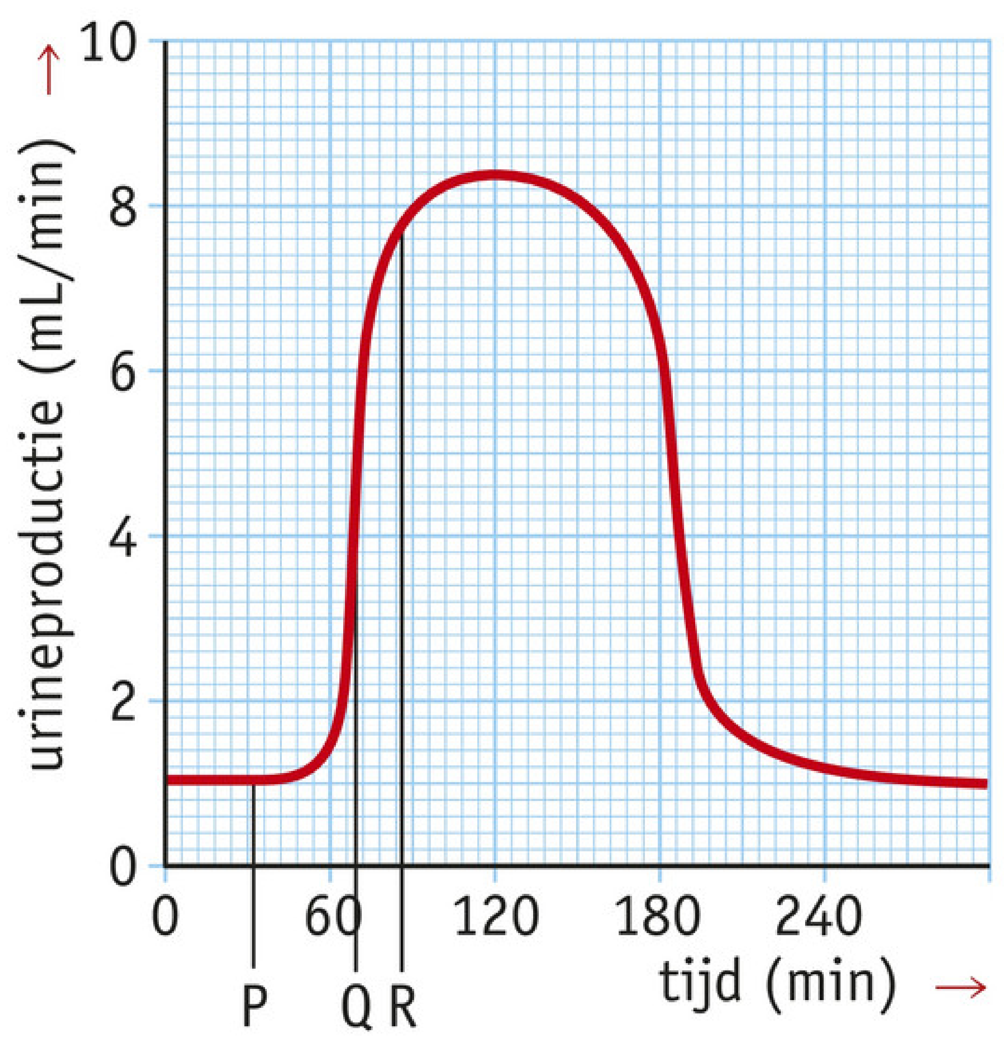
Vooral door de uitscheiding van overtollig water en overtollige zouten wordt de osmotische waarde van het interne milieu constant gehouden. Daarmee spelen de nieren, net als de lever, een belangrijke rol bij de homeostase.
De celmembranen van het tweede gekronkelde deel van de nierbuisjes en van de verzamelbuisjes zijn niet doorlaatbaar voor water. Onder invloed van het **antidiuretisch hormoon** of **ADH** uit de hypofyse neemt de doorlaatbaarheid van deze celmembranen toe. Daardoor wordt per tijdseenheid meer water onttrokken aan de voorurine en opgenomen in het bloed. Daardoor daalt de osmotische waarde van het interne milieu en neemt de urineproductie af.
Bij de regeling van de osmotische waarde van het interne milieu is sprake van negatieve terugkoppeling. De osmotische waarde van het bloed wordt waargenomen door zintuigcellen in de hypothalamus. Als de osmotische waarde stijgt, wordt onder invloed van deze zintuigcellen in de hypofyse meer ADH afgegeven aan het bloed. Doordat in de nieren meer water wordt onttrokken aan de voorurine, daalt de osmotische waarde van het bloed. Op deze manier wordt de **waterhuishouding** binnen het lichaam geregeld.

Ook de pH van het interne milieu wordt min of meer constant gehouden. In de nier zijn bufferstoffen aanwezig die een tekort aan H^+-ionen kunnen aanvullen of een overmaat opvangen. Daarnaast worden schommelingen in de pH opgevangen door de ademfrequentie (de snelheid waarmee je ademt) aan te passen.

opdrachten

30 Bij een hoge concentratie ADH stijgt de bloeddruk.
- **a** Leg uit waardoor deze stijging van de bloeddruk ontstaat.
- **b** Onder invloed van ADH kan de urine van kleur veranderen.
 Wordt de urine lichter of donkerder als de concentratie ADH toeneemt? Leg je antwoord uit.

▼ **Afb. 34** Urineproductie van Jelger gedurende een aantal uren.



31 Een aantal vrienden gaat een avondje stappen. Ze hebben met elkaar afgesproken dat Jelger de BOB is. Dat wil zeggen dat hij geen alcohol zal drinken, omdat hij moet rijden. Hij drinkt de hele avond frisdrank.

a Wie zal vermoedelijk vaker naar het toilet moeten om te plassen: Jelger of zijn vrienden? Leg je antwoord uit. Bedenk dat alcohol de productie van ADH remt.

b In het diagram van afbeelding 34 is de urineproductie van Jelger gedurende een aantal uren weergegeven. Rond tijdstip P drinkt Jelger twee blikjes frisdrank. Een blikje bevat 33 mL frisdrank.
De concentratie van opgeloste stoffen in de gevormde urine op tijdstip Q wordt vergeleken met de concentratie van opgeloste stoffen op tijdstip 0.
Zal de concentratie op tijdstip Q waarschijnlijk lager zijn dan, gelijk zijn aan of hoger zijn dan de concentratie op tijdstip 0? Leg je antwoord uit.

c Zal op tijdstip R de ADH-concentratie in het bloed van Jelger lager zijn dan, gelijk zijn aan of hoger zijn dan de ADH-concentratie op tijdstip 0? Leg je antwoord uit.

CONTEXT Leefwereld

Nefrotisch syndroom

▼ **Afb. 35** Kim toen ze 16 jaar was.



Kim Groenveld lijdt al jaren aan het nefrotisch syndroom. ‘Toen ik 7 jaar was, kreeg ik opeens allerlei klachten, zoals een opgezet oog. De huisarts ontdekte dat ik te veel eiwit in mijn urine had, een teken dat je nieren niet goed werken. Een nier is eigenlijk een groot filter dat bestaat uit allemaal kleine filters. Bij mij zijn sommige kleine filters beschadigd en daardoor komen er afvalstoffen in mijn bloed. Ik moest meteen door naar het ziekenhuis en kreeg prednison. Daarvan werd ik erg opgeblazen.
Het ging toen goed met me, maar mijn nier werkte maar voor 20%. Als een nier voor 12% werkt, moet je aan transplantatie of dialyse gaan denken. We zijn toen de eerste verkennende gesprekken gaan voeren over een transplantatie. Mijn vader heeft dezelfde bloedgroep als ik en liet onderzoeken of hij mogelijk een nier aan mij kon afstaan. Nu ben ik 24, acht jaar verder, en na een half jaar dialyseren is er in december 2010 een succesvolle niertransplantatie uitgevoerd met de nier van mijn vader. Deze doet het gelukkig nog steeds goed.’
Naar: www.nierstichting.nl.

opdracht

32 Kim heeft het over filters.

a Wat is de naam van de kleine filters?

b Kim zegt dat bij haar sommige kleine filters zijn beschadigd en dat er daardoor afvalstoffen in haar bloed komen.
Leg uit dat deze uitspraak niet juist is.

c De huisarts ontdekte te veel eiwit in de urine van Kim.
Leg uit dat te veel eiwit in de urine een teken is dat de nieren niet goed werken.

d Prednison is een ontstekingsremmer. Een van de bijwerkingen is dat prednison de zoutafgifte van de nieren remt.
Leg uit wat dat te maken heeft met Kims opmerking dat ze van prednison zo ‘opgeblazen’ wordt.

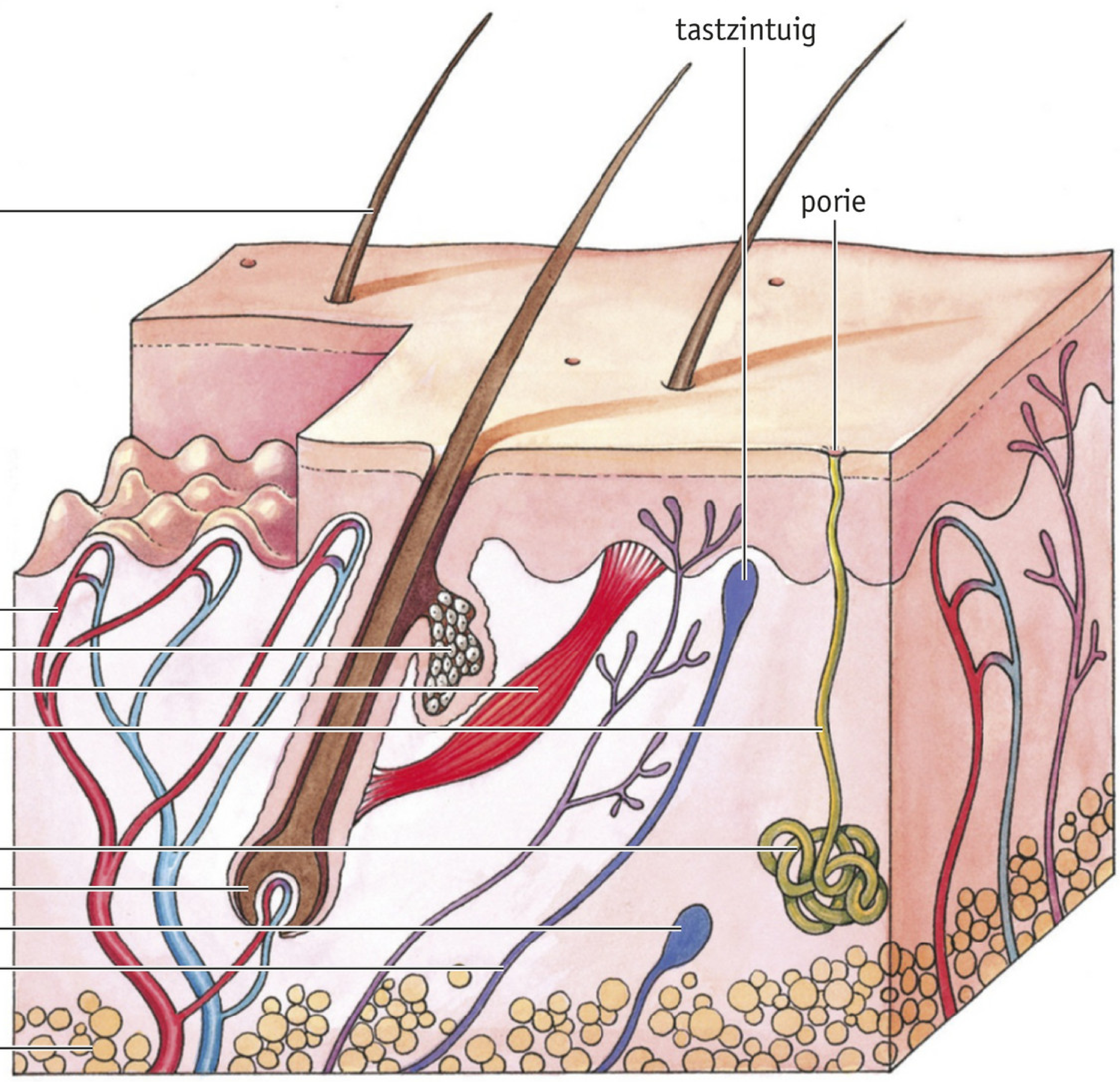
Leerdoelen
- Je kunt de bouw en functies van de huid beschrijven.
- Je kunt uitleggen hoe de lichaamstemperatuur min of meer constant wordt gehouden door de huid.

5 De huid

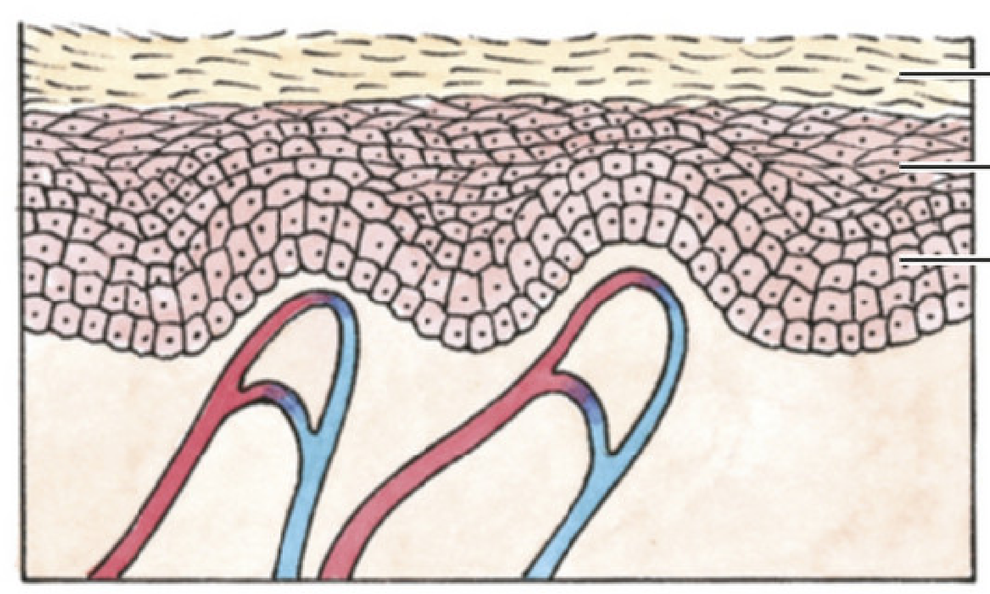
Je huid is het grootste orgaan van je lichaam. Hij weegt bij elkaar meer dan elk ander orgaan. Je huid beschermt je lichaam tegen invloeden van buiten en zorgt ervoor dat je lichaam op de juiste temperatuur blijft.

BOUW VAN DE HUID
De huid bestaat uit twee lagen: de opperhuid en de lederhuid (zie afbeelding 36).
De **opperhuid** wordt gevormd door de hoornlaag en de kiemlaag. De **hoornlaag** bestaat uit dode, verhoornde epitheelcellen (dekweefselcellen). De hoornlaag beschermt tegen beschadiging, uitdroging en infecties. De hoornlaag slijt aan de buitenkant steeds af. Op sommige plaatsen wordt de hoornlaag extra dik (eelt).
De **kiemlaag** bestaat uit levende epitheelcellen.
De onderste laag cellen van de kiemlaag deelt zich voortdurend. De bovenliggende lagen cellen schuiven op naar buiten, verhoornen en sterven af (zie afbeelding 37).

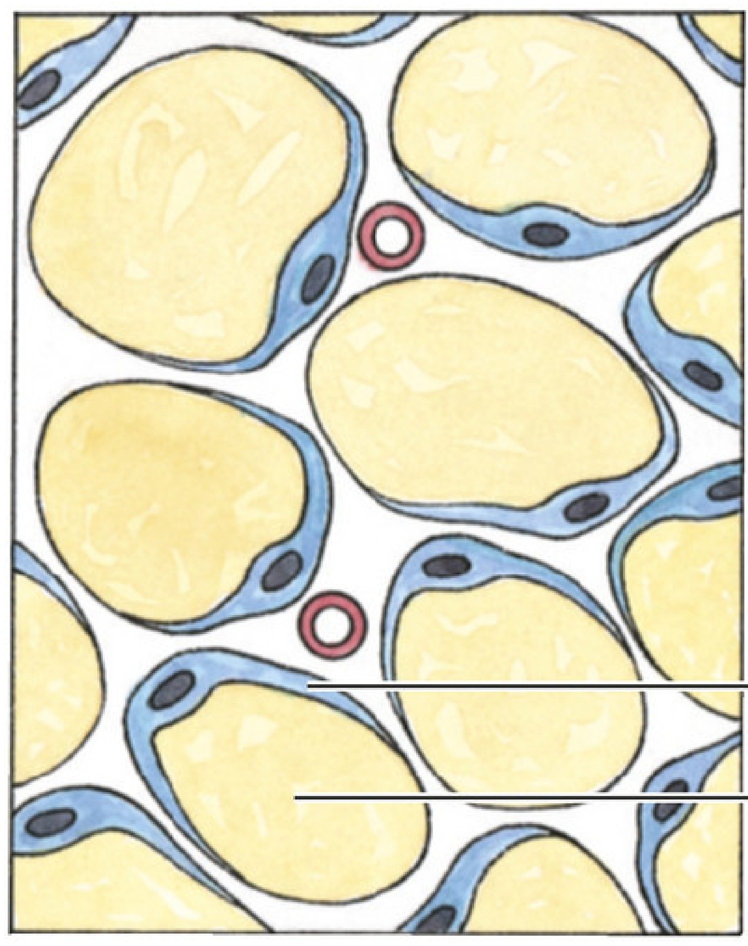
▼ **Afb. 36** De huid en het onderhuidse bindweefsel (schematisch).



▶ **Afb. 37** De verhoorning van de opperhuid (schematisch).



▼ **Afb. 38** Vetcellen.



In de opperhuid liggen geen bloedvaten. De epitheelcellen krijgen voedingsstoffen en zuurstof via de weefselvloeistof vanuit de lederhuid. In de kiemlaag liggen pigmentvormende cellen.
Door de opperhuid heen groeien haren. Haren groeien vanuit **haarzakjes** (uitstulpingen van de kiemlaag in de lederhuid). In haarzakjes bevinden zich **talgklieren** die talg afscheiden. **Talg** is een vettige stof die het haar en de hoornlaag soepel houdt.
In de **lederhuid** liggen zenuwcellen (neuronen), uitlopers van zenuwcellen, haarspiertjes, bloedvaten en zweetklieren. Onder de huid ligt het onderhuidse bindweefsel. Het onderhuidse bindweefsel is verspreid over het hele lichaam, behalve waar de huid dun is, zoals op de oogleden, tepels, geslachtsorganen en het scheenbeen. In het onderhuidse bindweefsel ligt vet opgeslagen in vetcellen (zie afbeelding 38). Dit zijn relatief grote cellen (ongeveer 0,1 mm) met een grote vacuole waarin het vet is opgeslagen. Het onderhuidse bindweefsel beschermt vitale organen en het vet zorgt voor isolatie.

THERMOREGULATIE

Organismen kunnen de gewenste lichaamstemperatuur herstellen of in stand houden door **thermoregulatie**. Elk organisme heeft een ideale temperatuur en een onder- en bovengrens. Bij oververhitting of onderkoeling kunnen de vitale lichaamsfuncties afnemen.
Bij de mens wordt de regeling van de lichaamstemperatuur aangestuurd door de hypothalamus. De huid speelt hierbij een belangrijke rol. In de hypothalamus bevindt zich een temperatuurzintuig dat de temperatuur van het langsstromende bloed registreert. Informatie over de temperatuur van de omgeving en van de buitenkant van het lichaam ontvangt de hypothalamus van de koude- en warmtezintuigen in de lederhuid.
Het lichaam geeft via de huid warmte af aan de omgeving. Deze warmteafgifte is groter naarmate het verschil tussen de temperatuur van de huid en de omgevingstemperatuur groter is. De temperatuur van de huid kan worden geregeld door de bloedvaten in de huid te verwijden. Daardoor stroomt er meer (warm) bloed door de huid, waardoor de warmteafgifte van het lichaam wordt vergroot.

Warmteafgifte vindt ook plaats door uitscheiding van zweet door de huid. **Zweet** wordt geproduceerd door de **zweetklieren** in de lederhuid en bestaat voornamelijk uit water en zouten. Zweet wordt uitgescheiden via de poriën. Door verdamping van het water uit zweet wordt warmte aan het lichaam onttrokken. Zweet bevat ook geurstoffen (feromonen). Huidbacteriën halen voedingsstoffen uit zweet. De afvalstoffen die de bacteriën produceren, veroorzaken zweetlucht.

In een koude omgeving geeft het lichaam minder warmte af doordat bloedvaten in de huid vernauwen. Ook wordt er minder zweet geproduceerd en gaan de lichaamsharen rechtop staan: ‘kippenvel’. Dit gebeurt door samentrekking van kleine spiertjes aan de haarzakjes. Door de rechtopstaande haren vermindert de stroming van lucht langs de huid en wordt warmte beter vastgehouden. Dit effect is bij mensen echter te verwaarlozen, omdat de beharing van het lichaam gering is.

De hoeveelheid warmte die een lichaam kan vasthouden of afgeven, hangt af van de verhouding tussen het lichaamsoppervlak en het volume (inhoud) ervan. Als het oppervlak vergeleken met de lichaamsinhoud groot is, verliest een organisme gemakkelijk veel warmte. Is de verhouding omgekeerd, dan houdt het organisme gemakkelijk warmte vast.

opdrachten

33 De reddingsbrigade langs de Nederlandse kust waarschuwt elk voorjaar zwemmers die een duik willen nemen in zee voor hypothermie (onderkoeling). Bij een zeewatertemperatuur van 5 °C ben je in zwemkleding binnen een halfuur onderkoeld. Toch is dit maar een ruwe schatting, omdat er geen wetmatigheden zijn over de overlevingskansen in water. De werkelijke overlevingstijd hangt af van veel factoren, zoals lichaamsbouw, hoeveelheid onderhuids vet, gebruik van alcohol, kleding, geslacht, windsnelheid en lichamelijke conditie.

a De hoeveelheid warmte die een lichaam kan vasthouden of afgeven, hangt af van de verhouding tussen het lichaamsoppervlak en het volume (inhoud). Vergelijk drie kubussen. Kubus A heeft zijden van 1 cm, kubus B heeft zijden van 2 cm en kubus C heeft zijden van 3 cm.
Welke kubus heeft het grootste oppervlak in verhouding tot de inhoud? Laat je berekening zien.

b Kinderen hebben eerder te maken met hypothermie dan volwassenen. Verklaar dit verschil.

c Verklaar het verschil in overlevingstijd in water tussen mannen en vrouwen.

d Welke invloed heeft het gebruik van alcohol op de overlevingstijd in het water? Leg je antwoord uit.

e Het is niet verstandig om zeewater te drinken terwijl je op hulp wacht. Leg dit uit.

34 Het aantal zweetklieren bij een volwassen persoon wordt geschat op twee tot drie miljoen. Ze zijn niet gelijkmatig over de huid verspreid. In de huid van de handpalmen en voetzolen, van de rug en oksels en van het voorhoofd bevinden zich veel zweetklieren.
Wanneer je veel zweet, verandert de osmotische waarde van het bloed.
Hoe zorgt het lichaam er door negatieve terugkoppeling voor dat de waterhuishouding wordt hersteld? Gebruik in je antwoord: *ADH – osmotische waarde*.

35 Dieren zijn meestal goed aangepast aan hun leefomgeving.

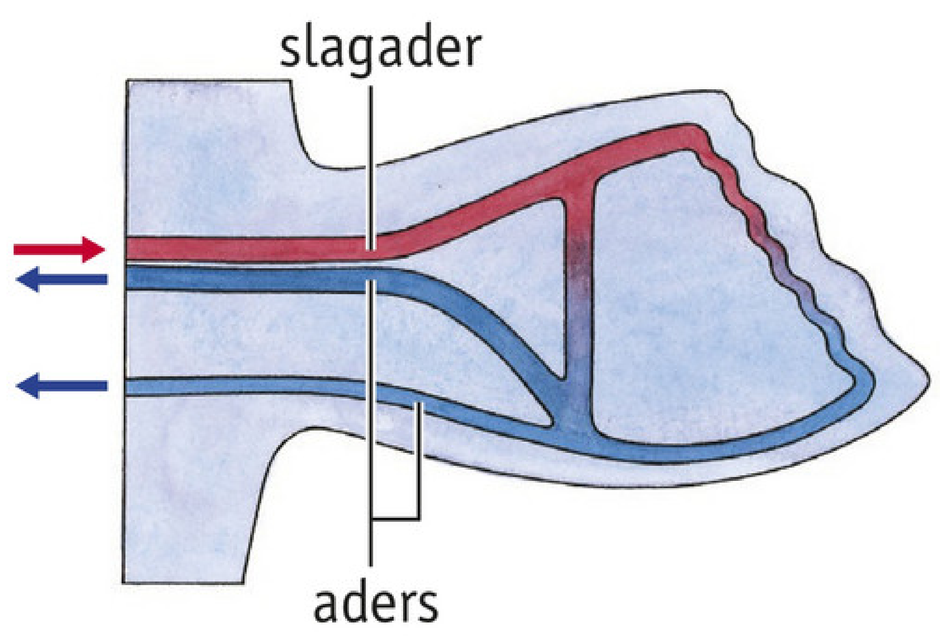
a Grote pinguïns leven in koude gebieden en de kleine soorten in minder koude gebieden.
Leg uit waarom.

b Olifanten koelen niet zo gemakkelijk af via de huid door hun dikke hoornlaag.
Welke aanpassing zorgt ervoor dat olifanten kunnen afkoelen ondanks hun grootte en dikke hoornlaag?

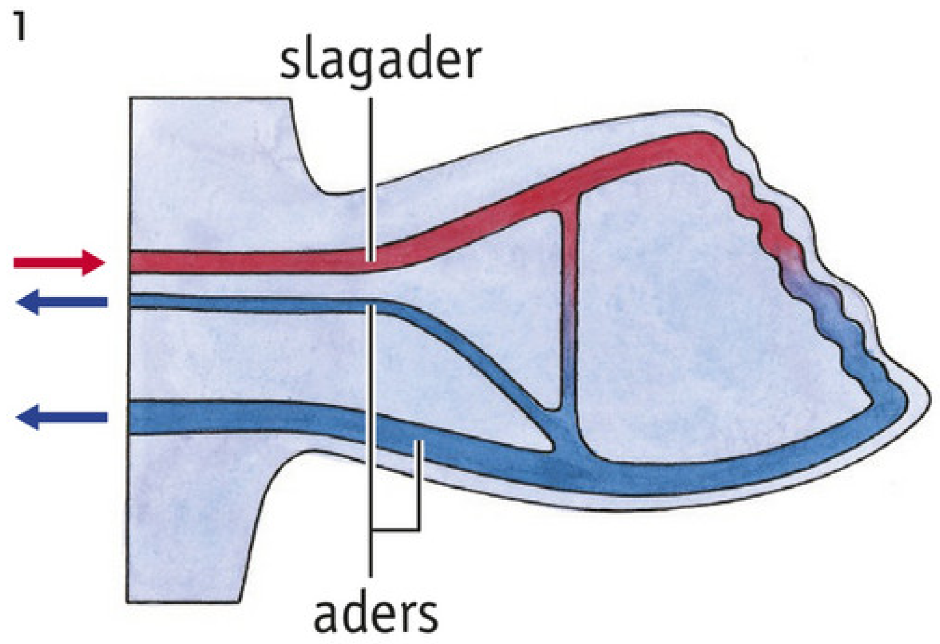
c Muizen zijn actieve dieren en constant op zoek naar voedsel.
Hoe kun je dit gedrag verklaren op basis van hun oppervlak en volume?

d Vogels hebben geen zweetklieren, maar gebruiken hun snavel als koelsysteem. Op het heetst van de dag begint een struisvogel spontaan te hijgen. Het ‘koelhijgen’ heeft niets te maken met buiten adem zijn na lichamelijke inspanning.
Leg uit dat het ‘koelhijgen’ dezelfde functie heeft als zweten.

▼ **Afb. 39** Tegenstroomprincipe bij een ledemaat van een zoogdier bij verschillende omgevingstemperaturen (schematisch).



1



2

36 In de ledematen van bepaalde zoogdieren kan het bloed in de richting van het hart worden vervoerd door aders die aan de oppervlakte liggen, en door aders die dicht langs de slagaders lopen (zie afbeelding 39).

a Welke verschillen zijn er tussen de bloedvaten in de twee afbeeldingen?

b In welke afbeelding is de warmte-uitwisseling tussen het bloed in de slagader en het bloed in de ernaast gelegen ader het grootst?

c In welke afbeelding is de omgevingstemperatuur het laagst? Leg je antwoord uit.

CONTEXT Leefwereld

De Nijmeegse Vierdaagse

▼ **Afb. 40** Het is een misvatting dat je zo veel mogelijk moet drinken bij een marathon.



Bij lichamelijke inspanning zweet je. Zweet bevat behalve water ook zouten. Normaal is het verlies van zouten geen probleem. ‘Dat verlies aan zout vul je moeiteloos aan door de pizza die er ’s avonds weer in gaat,’ zegt Hein Daanen, hoogleraar thermofysiologie aan de VU en onderzoeker bij TNO. ‘De waterkanaaltjes in de zweetklieren pompen bovendien een deel van de zouten terug. De lichaamsvloeistof wordt zouter en daardoor is het zweet op de huid minder zout dan onze lichaamsvloeistof. Wie veel zweet, moet dus juist geen extra zout eten, want dat versterkt het probleem. Je moet wel voldoende water drinken,’ aldus Daanen.
Dat is anders als je in de hitte bijvoorbeeld de Vierdaagse loopt. Bij een onderzoek stelden Nijmeegse artsen vast dat 5% van deelnemers aan de Vierdaagse een tekort aan zouten had. Sommige lopers hadden wel 12 L water gedronken. ‘Wie zó veel drinkt, heeft wél wat extra zout nodig,’ zegt Daanen. Het gevaar is dan niet dat je te veel zouten verliest, maar dat je te veel water drinkt. Door de overmaat aan water wordt de zoutconcentratie te laag met een watervergiftiging als gevolg. Niet alle marathonlopers hebben dit overleefd.
Naar: *de Volkskrant*, 17 juli 2015.

opdracht

37 Niet alleen door de Vierdaagse of een marathon kun je een watervergiftiging oplopen. Ook bezoekers van grote dancefeesten die xtc hebben gebruikt, kunnen een watervergiftiging oplopen.

a De osmotische waarde van intercellulair vocht daalt als gevolg van een watervergiftiging.
Welk gevolg heeft dit voor de lichaamscellen zelf?

b Vooral hersencellen ondervinden het gevaar van een watervergiftiging. Dit kan onder andere leiden tot hoofdpijn, een verlaagd bewustzijn en zelfs een coma.
Geef een verklaring voor deze verschijnselen.

c Wandelaars van de Vierdaagse en marathonlopers moeten afgaan op hun dorstgevoel. Xtc-gebruikers moeten dit juist niet doen.
Verklaar dit verschil.

d Hein Daanen is thermofysioloog.
Zoek op internet uit wat een thermofysioloog bestudeert.

e In dit thema heb je gezien hoe de homeostase van het lichaam kan worden verstoord. Sporters en sportfysiologen hebben hiermee te maken.
Vind jij het voor jezelf van belang om dit soort zaken te weten? Leg uit waarom wel of niet.

Je hebt nu de basisstof van dit thema doorgewerkt.

- Controleer met het uitwerkingenboek of je de basisstofopdrachten goed hebt uitgevoerd.
- Je kunt nu verdergaan met de digitale oefentoets. Je kunt de samenvatting en flitskaarten gebruiken om je hierop voor te bereiden.
- Na de digitale oefentoets kun je de paragraaf Samenhang, de examentrainer en de verrijkingsstof doen.

Leerdoelen

- Je kunt het nut van uitscheiding toelichten voor verschillende organisatieniveaus van de biologie.
- Je kunt de biologische vakvaardigheden evolutionair en ecologisch denken toepassen op de samenwerking van uitscheidingsorganen bij het handhaven van de homeostase.

De koningsziekte

Veel staatslieden, koningen en hun hofhouding, edelen en priesters hadden vroeger last van een ontstoken grote teen. Hoe kwamen zij daaraan? Speelde de wijn, die rijkelijk vloeide, een rol? Of de overvloedige maaltijden? En klopt het dat deze 'koningsziekte' inderdaad alleen voorkomt bij welgestelde mensen?

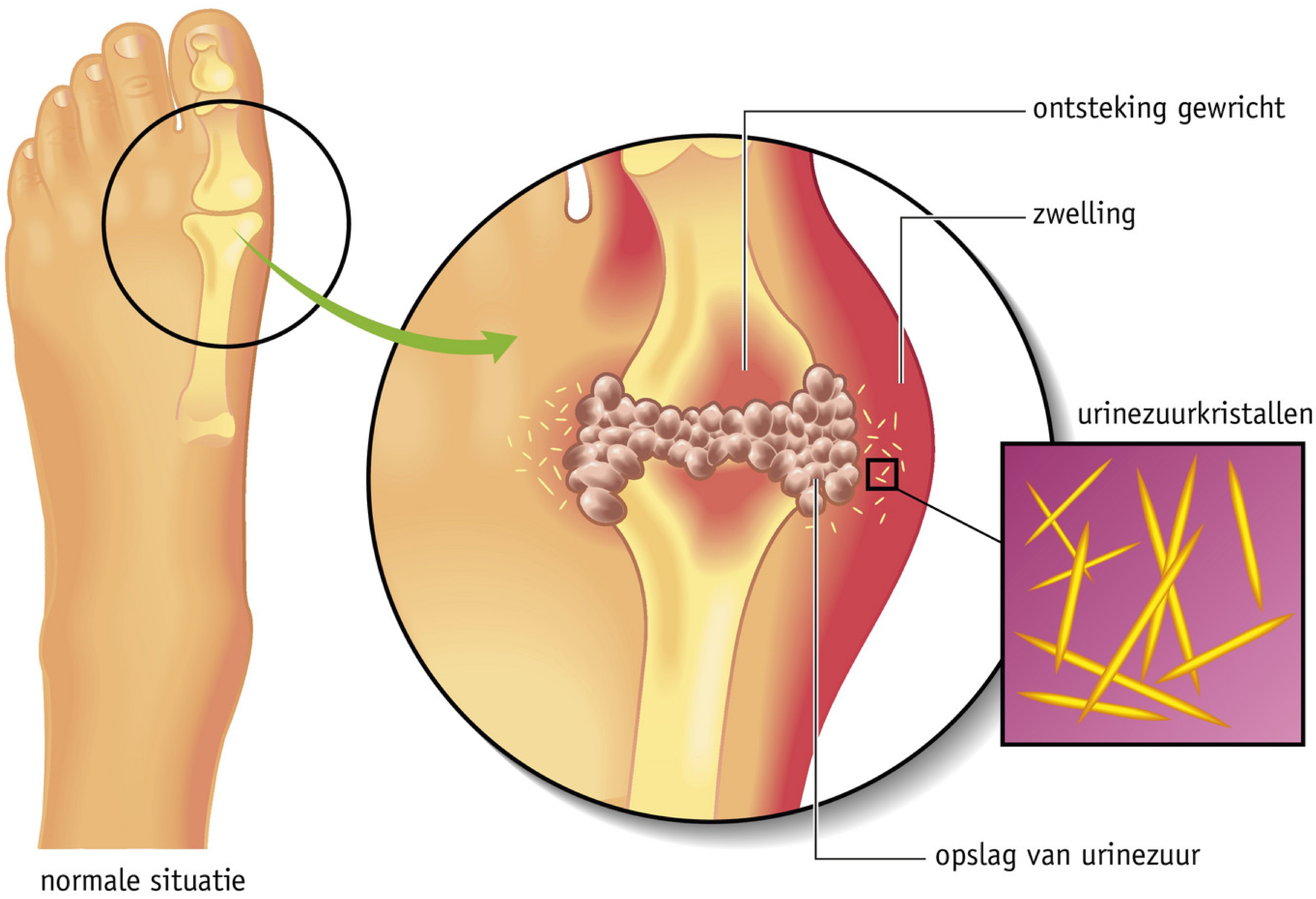
Toen de Britten in 1703 in plaats van Franse wijn Portugese port gingen drinken, brak een epidemie uit van de 'koningsziekte' onder de edelen. De port was verscheept in vaten gemaakt van het zware metaal lood. Nu hoeft dat geen probleem te zijn, want ons lichaam zit vol zware metalen. Vaak vormen ze de actieve centra van enzymen. Maar de ellende met zware metalen zoals lood en cadmium is dat ze onze eigen zware metalen verdringen, zodat de enzymen worden geïnactiveerd. Dat is bijvoorbeeld het geval in de nieren, die daardoor hun werk niet meer goed kunnen doen.



▶ **Afb. 1** Een rijk banket.

Ook via het voedsel krijgen we zware metalen binnen. Zware metalen hopen zich op in de voedselketen, doordat ze niet afbreekbaar zijn. Gelukkig raken we ze kwijt via onze haren, nagels en huid, via de nieren en via de gal. Maar niet alles. Een deel komt terecht in de lever en wordt daar opgeslagen. Tja, en als je die dan eet ...

Nu stonden juist bij de welgestelden regelmatig ganzenlever, patrijs, wildgebraad, kreeft, zalm, tonijn en asperges op het menu. Wat al dat lekkers gemeen heeft, is dat het een hoog gehalte aan restanten van DNA heeft die bij de spijsvertering vrijkomen. Hiervan worden adenine en guanine door enzymen omgezet in urinezuur. En juist urinezuur dreigt de homeostase van het bloed te verstoren. Normaal wordt de pH van het bloed door bufferstoffen binnen de perken gehouden. Komt er een teveel aan urinezuur, dan wordt dat uitgescheiden door de nieren. En als de nieren het niet meer aankunnen, dan kristalliseert het urinezuur. Het urinezuur wordt opgeslagen, vooral in de gewrichten van handen en voeten. Eén minpuntje: de kristallen van urinezuur zijn naaldvormig. En dát voelt de koning in zijn grote teen. Tegenwoordig weten we dat het gaat om jicht en dat iedereen het kan krijgen.



▶ **Afb. 2** Jicht in de voet.

Organisatie-niveau	Begrip
Biosfeer	
Ecosysteem	
Populatie	
Organisme	
Orgaanstelsel	
Orgaan	
Cel	
Molecuul	

opdrachten

1 Neem de tabel over en noteer begrippen uit de tekst bij het juiste organisatieniveau.

2 Jicht ontstaat door een overmaat aan urinezuur.

a Door welke twee oorzaken ontstaat een overmaat aan urinezuur?

b Urinezuur kristalliseert vooral in de gewrichten van handen en voeten. Leg uit waarom juist in deze delen.

c Bij de behandeling van een tumor door chemotherapie ontstaat dikwijls een overmaat aan urinezuur.
Geef hiervoor een verklaring.

3 Zalm en tonijn zijn roofvissen.

a Hoe komt het dat je via deze vissen meer kans hebt zware metalen binnen te krijgen?

b Lood kun je niet alleen via het voedsel binnenkrijgen, maar ook via je longen. Bij de uitvoering van sommige beroepen heb je zelfs meer kans op de inademing van lood.
Geef twee voorbeelden van risicoberoepen. Maak hierbij gebruik van internet en de zoekterm beroepsziekte.

c Je zou kunnen zeggen dat de welgestelden de jicht aan zichzelf te wijten hadden. Eigen schuld, dikke bult. Hadden ze maar niet zo veel moeten eten. Ben je het met deze stelling eens? Leg uit waarom wel of niet.

4 In de loop van de evolutie is door een mutatie het enzym uricase bij de mens verloren gegaan.

a Wat is de functie van uricase?

b Leg uit hoe het komt dat bij mensen wel jicht voorkomt en bij de andere zoogdieren niet. Gebruik zo nodig boeken en/of internet.

Practica

practicumopdracht 1

MATERIAAL
– een blad, bijvoorbeeld van een tulp, liguster of Chinese roos, of de stengel van een boonplant
– een microscoop
– prepareermateriaal

Huidmondjes

BASISSTOF 1

In deze practicumopdracht bekijk en teken je huidmondjes. Hiervoor gebruik je een blad van een tulp, liguster of Chinese roos. Het doel van deze opdracht is dat je in een preparaat van een huidmondje de volgende delen kunt herkennen: *opperhuid – sluitcel*.

METHODE
– Maak een preparaat van een vliesje van een blad (zie afbeelding 1). Dit gaat ook goed met plakband.
– Bekijk het preparaat bij een vergroting van 100× en zoek een huidmondje op.
– Bekijk het huidmondje bij een vergroting van 400×. Maak een tekening van het huidmondje met sluitcellen en omringende epidermiscellen.

▼ **Afb. 1** Een bladvliesje prepareren.





RESULTAAT
Een tekening van een huidmondje met sluitcellen en omringende epidermiscellen.

practicumopdracht 2

MATERIAAL
– een spirometer
– een glazen klok

Bepaling van de vitale capaciteit

BASISSTOF 2

Jongens zijn gemiddeld groter dan meisjes. In deze practicumopdracht onderzoek je de invloed van het geslacht op de vitale capaciteit van de longen.

ONDERZOEKSVRAAG
Hebben jongens gemiddeld grotere longen en dus ook een grotere vitale capaciteit dan meisjes?

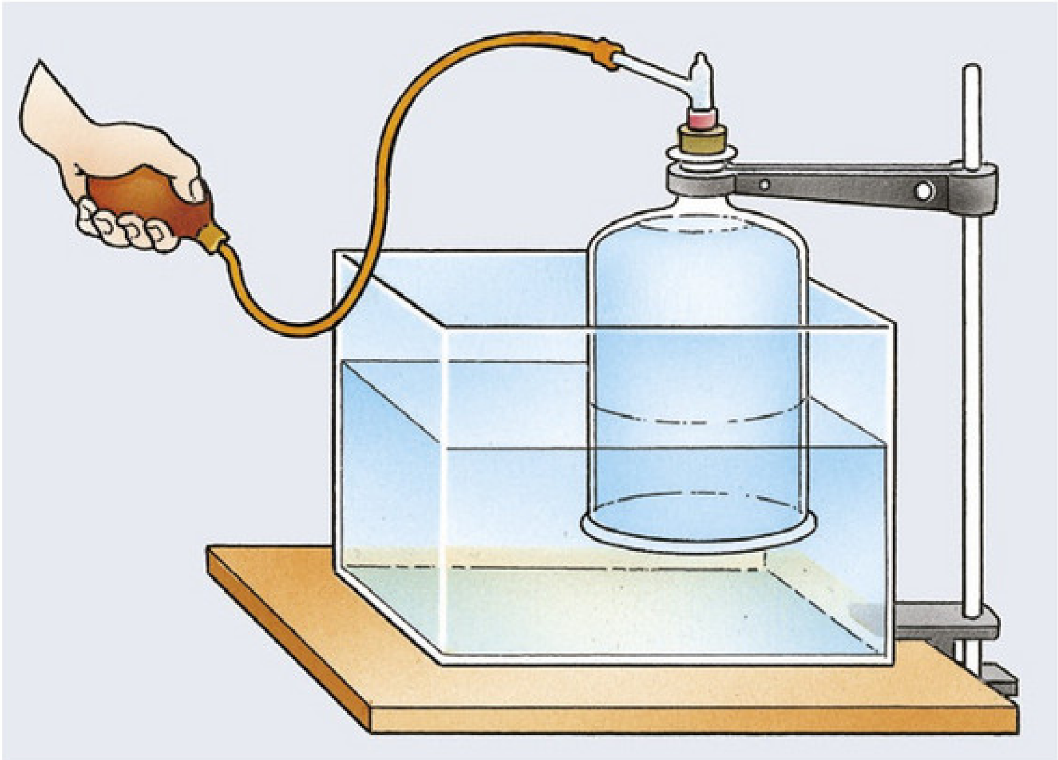
HYPOTHESE
Beantwoord de volgende vragen.
1 Bedenk een hypothese voordat je aan het experiment begint.
2 Waarop is je hypothese gebaseerd?

METHODE
Alle leerlingen uit de klas bepalen hun vitale capaciteit door zo diep mogelijk in te ademen en daarna zo diep mogelijk uit te ademen in de spirometer (zie afbeelding 2) of met de rubberslang in de glazen klok (zie afbeelding 3).
Als je de klok gebruikt, zuig dan eerst met de ballon de lucht uit de klok en sluit het kraantje.

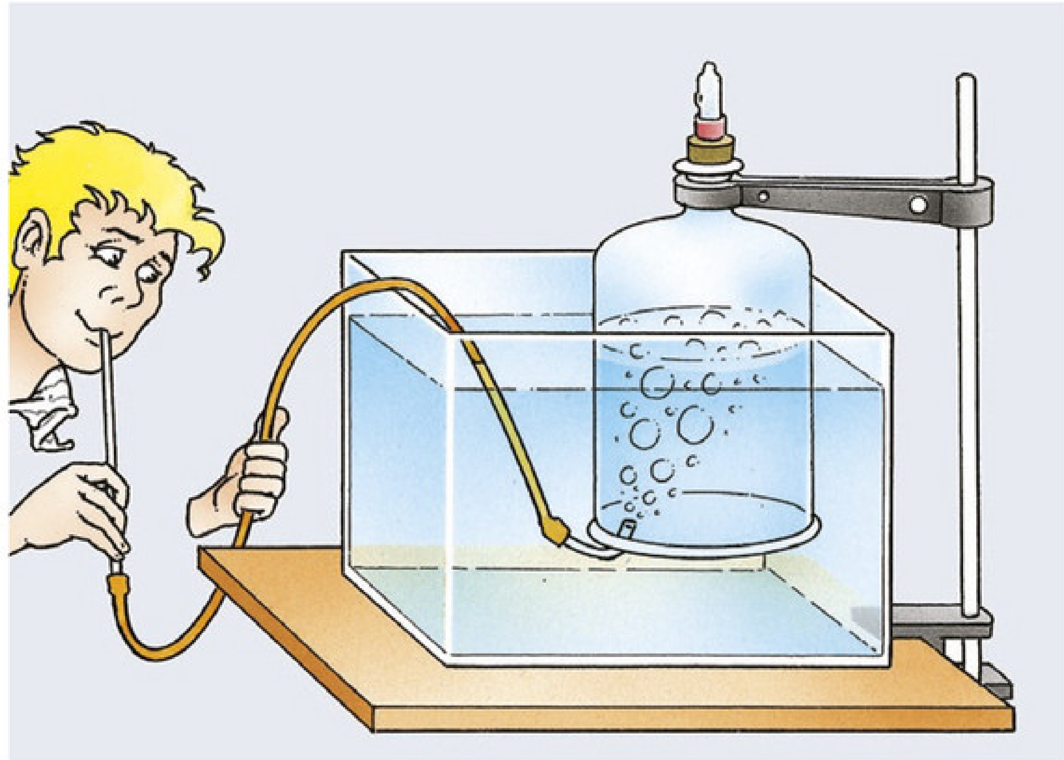
▼ **Afb. 2** Spirometer.



▼ **Afb. 3** De vitale capaciteit bepalen.



1 de klok leegzuigen



2 in de klok uitademen

Beantwoord de volgende vraag.

3 Welke materialen heb je naast de spirometer of glazen klok nodig?

RESULTAAT

– Noteer van iedereen de vitale capaciteit.
– Maak met de resultaten een schema. Gebruik daarbij aparte kolommen voor jongens en meisjes.
– Bereken van jongens en meisjes de gemiddelde vitale capaciteit.

CONCLUSIE

Beantwoord de volgende vraag.

4 Vergelijk de gemiddelde waarden. Zijn de uitkomsten in overeenstemming met je verwachting?

practicumopdracht 3

Relatie tussen vitale capaciteit en uithoudingsvermogen

▸▸ BASISSTOF 2

MATERIAAL

– een gymzaal met daarin afbakeningen op 20 m van elkaar
– een geluidsfragment met piepjes voor de Shuttle Run
– een computer of laptop

Het uithoudingsvermogen is in de evolutie van de mens sterk ontwikkeld. Jagers renden uren achter een prooi aan, die sneller was, maar het niet zo lang kon volhouden. In deze practicumopdracht onderzoek je de relatie tussen de vitale capaciteit en het uithoudingsvermogen. Hierbij wordt het uithoudingsvermogen bepaald met een Shuttle Run Test.

ONDERZOEKSVRAAG

Hebben personen met een groot uithoudingsvermogen gemiddeld een grotere vitale capaciteit dan personen met een minder groot uithoudingsvermogen?

HYPOTHESE

Formuleer een hypothese.

METHODE

– Voer de Shuttle Run Test uit. Ga als volgt te werk. Je rent tussen twee lijnen op 20 m van elkaar heen en weer. Na elke minuut hoor je een piepje en gaat de snelheid met 0,5 km omhoog (een hele trap). In totaal zijn er twintig trappen. Bij het keerpunt zet je één voet op de lijn en dan ren je weer terug met een zo kort mogelijke draai. Je stopt met de test als je voelt dat je moet stoppen of als je drie keer achter elkaar te laat op de lijn komt.
– Noteer de trap die je als laatste hebt gehaald.

- Maak een tabel met drie kolommen: naam, trap en vitale capaciteit (L).
- Noteer de gegevens van alle klasgenoten in een tabel. De vitale capaciteit neem je over van practicumopdracht 2.
- Maak (in Excel of een vergelijkbaar programma) een spreidingsgrafiek van de resultaten.
- Onderzoek of er sprake is van een lineair verband tussen de trappen en de vitale capaciteit door het toevoegen van een lineaire trendlijn. Zo'n trendlijn gebruik je om een regelmatige stijging of daling weer te geven.
- Onderzoek de betrouwbaarheid van dit verband door het toevoegen van de R^2-waarde. Een trendlijn is het meest betrouwbaar als de R^2-waarde 1 is of 1 benadert.

RESULTAAT

Een grafiek met lineaire trendlijn en R^2.

CONCLUSIE

Beantwoord de volgende vragen.

1 Welke conclusie kun je op basis van de grafiek trekken over het verband tussen de vitale capaciteit en het uithoudingsvermogen bij de leerlingen in je klas?

2 Bevestigt jouw conclusie je hypothese? Zo nee, hoe kun je dit verklaren?

DISCUSSIE

Beantwoord de volgende vraag.

3 Hoe betrouwbaar is het uitgevoerde onderzoek?

practicumopdracht 4

Leverweefsel

BASISSTOF 3

MATERIAAL
- een vast preparaat van leverweefsel
- een microscoop

De lever bestaat uit heel veel, zeshoekige leverlobjes. In deze practicumopdracht bekijk je met een microscoop een leverpreparaat en maak je een schematische tekening.

METHODE
- Bekijk een vast preparaat van leverweefsel bij een vergroting van 400×.
- Zoek een leverlobje op.
- Teken een leverlobje.
- Zet de namen bij de delen.

RESULTAAT

Een schematische tekening van een leverlobje.

practicumopdracht 5

Katalase in lever en spierweefsel

BASISSTOF 3

Onder invloed van katalase wordt waterstofperoxide afgebroken tot water en zuurstof volgens 2 $H_2O_2 \rightarrow$ 2 H_2O + O_2. Het enzym komt bij veel soorten organismen voor. Alle cellen van een organisme bezitten dit enzym, maar is de hoeveelheid gelijk? In deze practicumopdracht onderzoek je of lever en spierweefsel per gram evenveel katalase bevatten.

MATERIAAL
- een bekerglas van 250 mL
- 4 reageerbuizen en een reageerbuisrek
- een doorboorde kurk
- een kunststofslangetje
- een weegschaal
- een stukje lever
- een stukje biefstuk
- een mortier en vijzel
- scherp zand
- waterstofperoxideoplossing (H_2O_2) van 3%

ONDERZOEKSVRAAG

Bevatten lever en spierweefsel per gram evenveel katalase?

HYPOTHESE

Beantwoord de volgende vragen.

1. Bedenk een hypothese voordat je aan het experiment begint.
2. Waarop is je hypothese gebaseerd?

METHODE
- Maak een proefopstelling zoals in afbeelding 4 is weergegeven.
- Vul reageerbuis 1 nog niet. Vul reageerbuis 2 met water.
- Weeg een stukje lever van 1 g af.
- Wrijf het stukje lever fijn in de mortier met scherp zand. Breng dit mengsel in reageerbuis 1.
- Breng 5 mL waterstofperoxide in reageerbuis 1. Pas op met morsen! Plaats de reageerbuis onmiddellijk in het rek.
- Meet na 20 seconden de hoogte van de gasbel in reageerbuis 2.
- Noteer je resultaten in een tabel.
- Herhaal de proef met een stukje biefstuk van 1 g.

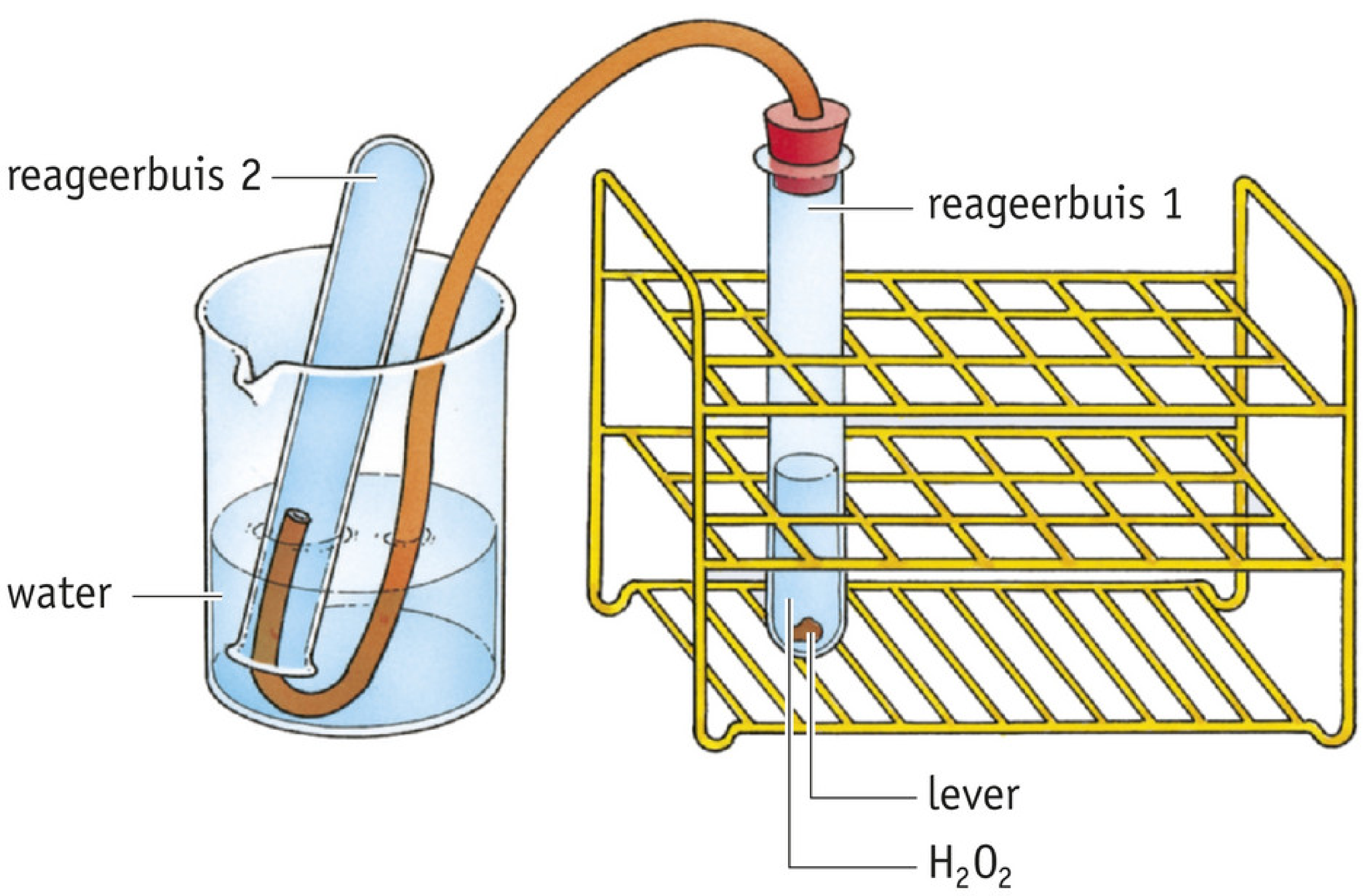
RESULTAAT

Een tabel met de resultaten.

CONCLUSIE

Beantwoord de volgende vragen.

3. Welke conclusie kun je trekken?
4. Bevestigt jouw conclusie je hypothese? Zo nee, hoe kun je dit verklaren?



Afb. 4 Proefopstelling om de hoeveelheid katalase te bepalen.

Samenvatting

LEERDOEL 1 ▸▸ BASISSTOF 1

Je kunt van delen van het ademhalingsstelsel de functies en kenmerken noemen.

- Neusholte met reukzintuig en bekleed met neusslijmvlies.
 - In de neusholte wordt lucht gereinigd, gekeurd, verwarmd en vochtig gemaakt.
- Trilhaarepitheel met slijmproducerende cellen en trilhaarcellen.
 - Aan het slijm blijven kleine stofdeeltjes en ziekteverwekkers kleven.
 - Het slijm wordt door de beweging van trilharen naar de keelholte verplaatst.
- Luchtpijp met trilhaarepitheel.
 - Door hoefijzervormige kraakbeenringen in de wand blijft de luchtpijp openstaan.
- Bronchiën met trilhaarepitheel en kraakbeenringen.
- Bronchiolen.
 - De bronchiolen kunnen zich door spierweefsel in de wand verwijden en vernauwen.
- Longblaasjes met longhaarvaten.
 - In de longblaasjes vindt de gaswisseling plaats.
 - Een groot oppervlak, een dunne wand en een groot verschil in zuurstof- en koolstofdioxidespanning bevorderen de gaswisseling.

LEERDOEL 2 ▸▸ BASISSTOF 1

Je kunt uitleggen hoe het interne milieu min of meer constant wordt gehouden door de longen.

- In de longhaarvaten worden O_2-moleculen gebonden aan hemoglobine in rode bloedcellen.
 - Door de binding van O_2 aan Hb blijft er een verschil bestaan tussen de pO_2 in het vocht in de longblaasjes en de pO_2 in het bloedplasma, waardoor meer zuurstof kan worden opgenomen.
- Door het concentratieverschil vindt diffusie plaats van O_2 uit de haarvaten naar de weefsels en van CO_2 uit de weefsels naar het bloed.
 - Een groot deel van dit CO_2 wordt door het bloedplasma vervoerd; een ander deel wordt gebonden aan hemoglobine.
 - In de longhaarvaten laten de CO_2-moleculen los van de hemoglobine.
 - De pH van het bloed wordt beïnvloed door de pCO_2. Wanneer de pCO_2 toeneemt, daalt de pH en komen er meer O_2-moleculen vrij.
 - De longen kunnen door aanpassing van de longventilatie de uitscheiding van CO_2 reguleren.

LEERDOEL 3 ▸▸ BASISSTOF 1

Je kunt de werking van organen voor gaswisseling bij planten beschrijven.

- Via huidmondjes gaat koolstofdioxide naar binnen en gaan waterdamp en zuurstof naar buiten.
 - Huidmondjes bevinden zich vooral aan de onderkant van de bladeren.
 - Huidmondjes kunnen open (hoge turgor in de sluitcellen) of dicht (lage turgor in de sluitcellen) zijn.
 - Waterverlies kan worden beperkt door de huidmondjes te sluiten.
 Dit belemmert de opname van CO_2 en daarmee de fotosynthese.

LEERDOEL 4 ▸▸ BASISSTOF 2

Je kunt uitleggen op welke wijze longventilatie tot stand komt.

- Ademhalingsspieren.
 - De buitenste tussenribspieren trekken de ribben en het borstbeen omhoog en naar voren.
 - De binnenste tussenribspieren trekken de ribben en het borstbeen omlaag.
 - De middenrifspieren kunnen het middenrif afplatten.
- Borstvlies en longvlies.
 - Borstvlies: vergroeid met ribben, binnenste tussenribspieren en middenrif.
 - Longvlies: vergroeid met longen.
 - De ruimte tussen borstvlies en longvlies is gevuld met vocht waardoor ze niet van elkaar af gaan.
- Longweefsel: is elastisch en verkeert in een uitgerekte toestand.
 - Hierdoor is de druk in de ruimte tussen borstvlies en longvlies lager dan de druk van de buitenlucht.
- Rustige inademing.
 - De tussenribspieren en de middenrifspieren vergroten het volume van de borstholte.
 - De luchtdruk in de longblaasjes wordt lager dan de druk van de buitenlucht.
 - Lucht stroomt de longen in.
- Rustige uitademing.
 - De tussenribspieren en de middenrifspieren ontspannen zich.
 - De ribben en het borstbeen keren terug naar hun oorspronkelijke stand.
 - Door de druk in de buikholte keert het middenrif terug naar zijn koepelvormige stand.
 - Het volume van de longen wordt kleiner.
 - De luchtdruk in de longblaasjes wordt hoger dan de druk van de buitenlucht.
 - Lucht stroomt de longen uit.

LEERDOEL 5 ▶▶ BASISSTOF 2

Je kunt beschrijven hoe het longvolume verandert tijdens ventilatiebewegingen.

- Ademvolume: de hoeveelheid lucht die bij een rustige ademhaling wordt in- en uitgeademd.
 - Een deel van de ingeademde lucht blijft in de luchtwegen (de dode ruimte). Deze lucht wordt ongebruikt weer uitgeademd.
- Vitale capaciteit: de hoeveelheid lucht die maximaal per ademhaling kan worden verplaatst.
- Longcapaciteit (totale longvolume): vitale capaciteit + restvolume.
 - Restvolume: blijft na een maximale uitademing achter in de longen.

LEERDOEL 6 ▶▶ BASISSTOF 3

Je kunt de bouw, werking en functies van de lever beschrijven.

- Leverlobje.
 - Centraal ligt een vertakking van de leverader.
 - In de hoekpunten liggen vertakkingen van de galgang, de leverslagader en de poortader.
 - Bloed komt van de hoekpunten terecht in ruimten tussen de levercellen en stroomt dan naar het midden van een leverlobje.
 - Gal stroomt van de levercellen naar de hoekpunten van een leverlobje.
- Galzuren emulgeren vetten en oliën.
- Afbraak van dode rode bloedcellen.
 - Bilirubine wordt met de gal uitgescheiden.
 - IJzer wordt opgeslagen.

LEERDOEL 7 ▶▶ BASISSTOF 3

Je kunt uitleggen hoe het interne milieu min of meer constant wordt gehouden door de lever.

- De lever speelt een rol bij de stofwisseling van koolhydraten, eiwitten en vetten.
 - Glycogeen wordt o.a. in de lever opgeslagen.
- Eiwitstofwisseling.
 - Afbraak van overtollige aminozuren. Hierbij ontstaat ureum.
- Vetstofwisseling.
 - Vorming van niet-essentiële vetzuren (uit andere vetzuren, aminozuren of monosachariden).
- Ontgiften van o.a. alcohol, drugs en medicijnen.
 - Gifstoffen die niet onwerkzaam kunnen worden gemaakt, kunnen in de lever worden opgeslagen (bijv. kwik).

LEERDOEL 8 ▶▶ BASISSTOF 4

Je kunt de bouw, werking en functies van de nieren en de urinewegen beschrijven.

- Functies van de nieren.
 - Uitscheiding van afvalstoffen, schadelijke stoffen en overtollige stoffen uit het bloed.
 - De verwijderde stoffen worden samen urine genoemd.
 - Constant houden van de osmotische waarde van het interne milieu.
- Urinewegen.
 - Urineleiders: afvoer van urine naar de urineblaas.
 - Urineblaas: tijdelijke opslag van urine.
 - Urinebuis: afvoer van urine naar buiten.
- Delen van een nier.
 - Nierschors: vorming van voorurine.
 - Niermerg: vorming van urine.
 - Nierbekken: verzamelen van urine.
 - Niereenheden liggen in nierschors en niermerg.
- Niereenheid.
 - Aanvoerend slagadertje: vertakt zich tot een haarvatenkluwen (glomerulus) binnen het nierkapseltje.
 - Nierkapseltje (kapsel van Bowman): door ultrafiltratie ontstaat voorurine.
 - Afvoerend slagadertje: vertakt zich tot een haarvatennet om het nierbuisje en voorziet de cellen van het nierbuisje van voedingsstoffen en zuurstof.
 - Nierbuisje: door actief transport vindt terugresorptie van nuttige stoffen uit de voorurine plaats, waardoor de osmotische waarde van het niermergweefsel hoger wordt dan die van het nierschorsweefsel.
 - Verzamelbuisjes: door de hoge osmotische waarde in het niermergweefsel wordt tijdens het transport naar het nierbekken veel water aan de (voor)urine onttrokken.
- Bij de terugresorptie worden nuttige stoffen aan de voorurine onttrokken.
 - Voorurine bevat veel water met o.a. glucose, ionen en ureum (in een lage concentratie).
 - Urine bevat (minder) water met o.a. ionen en ureum (in een relatief hoge concentratie).

LEERDOEL 9 ▶▶ BASISSTOF 4

Je kunt uitleggen hoe het interne milieu min of meer constant wordt gehouden door de nieren.

- Het antidiuretisch hormoon (ADH) uit de hypofyse stimuleert de terugresorptie van water.
 - ADH verhoogt de doorlaatbaarheid van de celmembranen van het tweede gekronkelde deel van de nierbuisjes en van de verzamelbuisjes.
 - Negatieve terugkoppeling: bij stijgende osmotische waarde geeft de hypofyse meer ADH af aan het bloed.
- In de nier zijn bufferstoffen aanwezig die een tekort aan H^+-ionen kunnen aanvullen of een overmaat opvangen.

LEERDOEL 10 ▶▶ BASISSTOF 5

Je kunt de bouw en functies van de huid beschrijven.

- De huid bestaat uit opperhuid en lederhuid.
- Opperhuid: hoornlaag en kiemlaag.
 - Hoornlaag (dode, verhoornde epitheelcellen): bescherming tegen beschadiging, uitdroging en infecties.
 - Kiemlaag (levende epitheelcellen): aanvulling van de hoornlaag van onderaf.
 - Haren ontstaan in haarzakjes die tot de kiemlaag worden gerekend.
- Lederhuid: bindweefsel met zintuigen, zenuwen, haarspiertjes, bloedvaten en zweetklieren.
 - Bloedvaten en zweetklieren spelen een belangrijke rol bij de regeling van de lichaamstemperatuur.
- Onderhuids bindweefsel.
 - Opslag van vet in vetcellen.

LEERDOEL 11 ▶▶ BASISSTOF 5

Je kunt uitleggen hoe de lichaamstemperatuur min of meer constant wordt gehouden door de huid.

- Thermoregulatie is het herstellen of in stand houden van de gewenste lichaamstemperatuur door organismen.
- De hypothalamus stuurt de regeling van de lichaamstemperatuur.
 - De hypothalamus ontvangt informatie van de koude- en warmtezintuigen in de lederhuid.
- De huid speelt een rol bij de regeling van de lichaamstemperatuur door:
 - de bloedvaten in de huid te verwijden of te vernauwen;
 - verdamping van zweet op het huidoppervlak.
- De hoeveelheid warmte die een lichaam kan vasthouden of afgeven, hangt af van de verhouding tussen het lichaamsoppervlak van een organisme en het volume (de inhoud) ervan.

COMPETENTIES/VAARDIGHEDEN

Je hebt de volgende vaardigheden geoefend:

- doelgericht zoeken, beoordelen en selecteren van informatie;
- analyseren welke rol kennis over gaswisseling en uitscheiding heeft in natuurwetenschappelijk onderzoek, beroepen en de dagelijkse praktijk;
- weergeven en interpreteren van gegevens;
- toepassen van verschillende fasen van natuurwetenschappelijk onderzoek;
- evalueren van een natuurwetenschappelijk onderzoek;
- verzamelen, bewerken en overzichtelijk weergeven van data;
- geven van een beargumenteerde mening;
- vorm-functiedenken op verschillende organisatieniveaus;
- beredeneren van gevolgen van veranderingen in een levensgemeenschap of ecosysteem.

Examentrainer

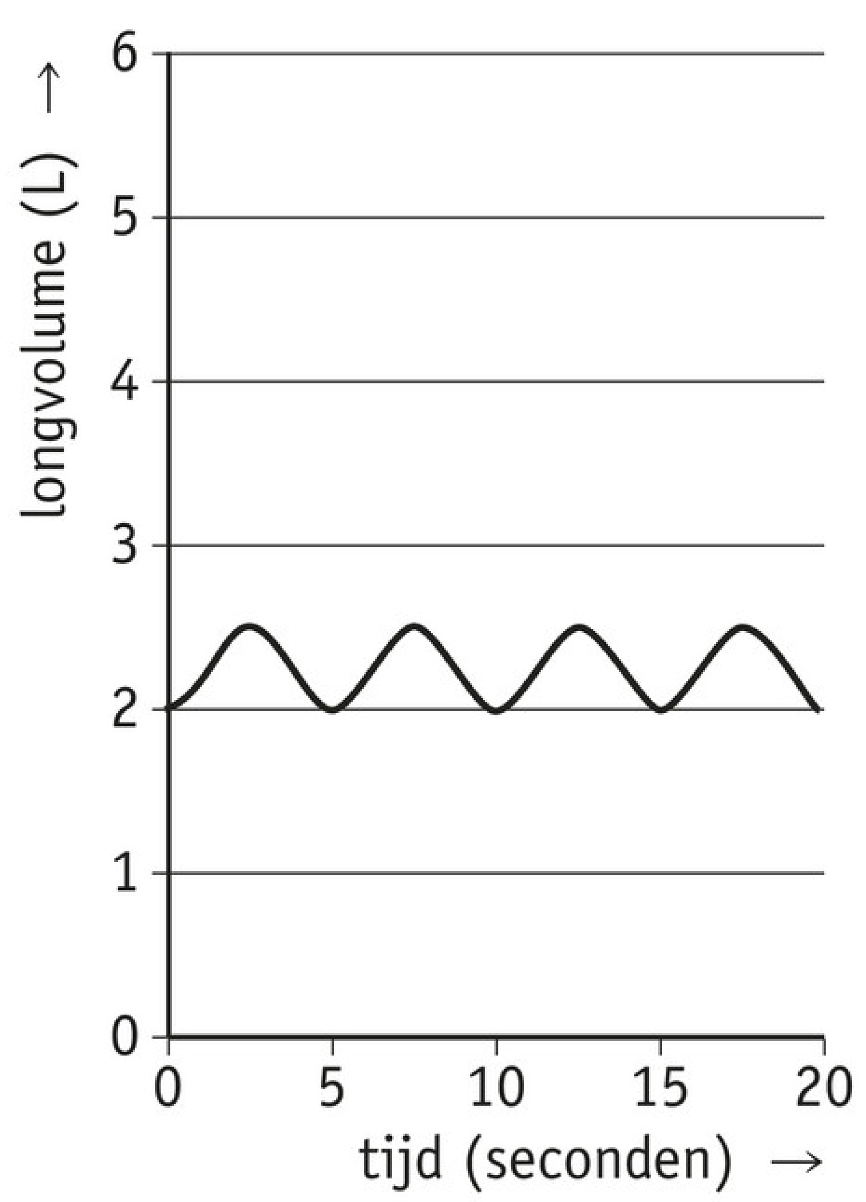
PRACTICUM ADEMHALING

Naar: examen havo 2016-2, vraag 27 tot en met 32.

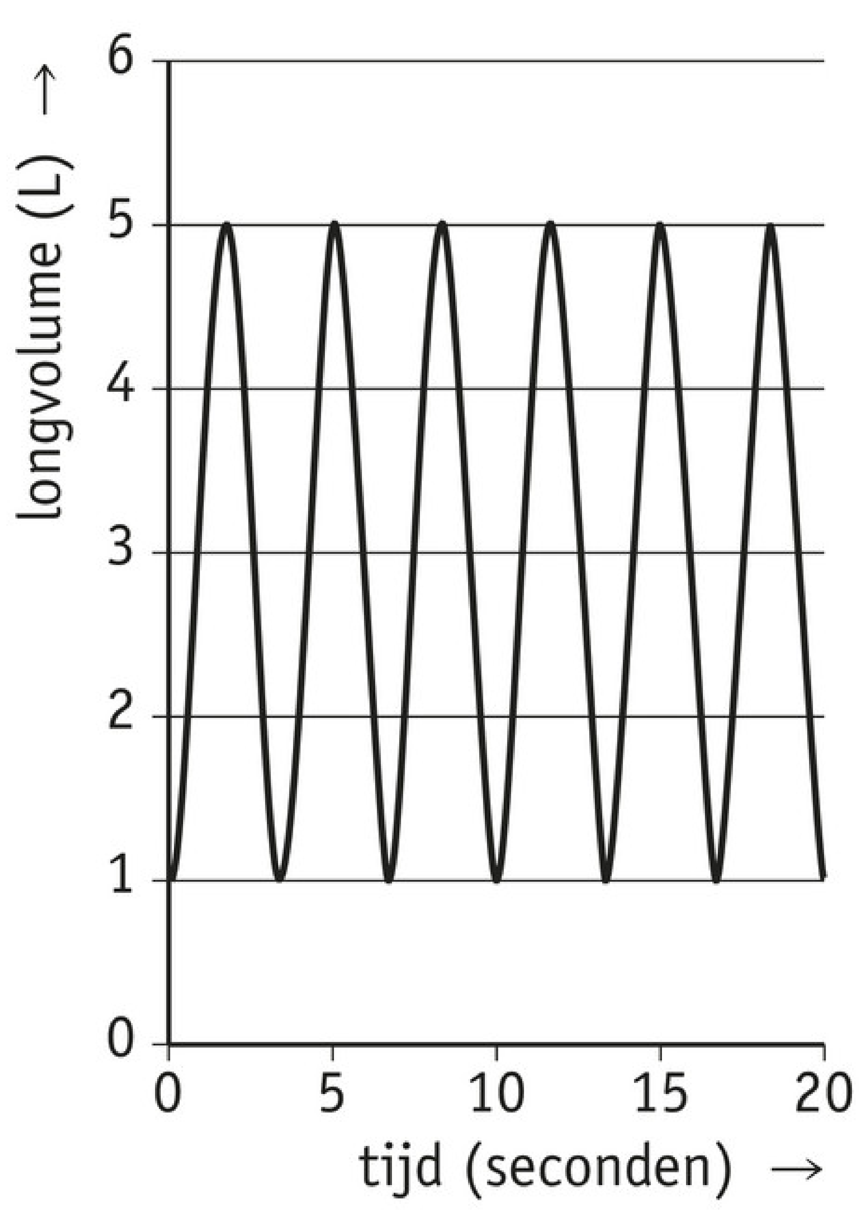
Gaby, Patrick en Chantal doen een practicum om de invloed van inspanning op de ademhaling te bepalen.

De leerlingen doen metingen aan het ademvolume en aan de ademhalingsfrequentie van Gaby. Eén meting tijdens rust en één meting na inspanning. De resultaten geven ze weer in twee respirogrammen; ademhaling in rust: afbeelding 1.1, en ademhaling na inspanning: afbeelding 1.2. Ze nemen aan dat het restvolume 1,0 L is. Met behulp van deze twee diagrammen bepalen de leerlingen het ademminuutvolume: het volume lucht dat per minuut wordt ververst.

▼ **Afb. 1** Longvolume.



1 ademhaling in rust



2 ademhaling na inspanning

Ga ervan uit dat Gaby na inspanning (zie afbeelding 1.1) maximaal in- en uitademt.

1p **1** Hoe groot is haar vitale capaciteit?

2p **2**
- Bereken hoe groot Gaby's ademminuutvolume is in rust. Geef je antwoord in hele liters.
- Bereken hoeveel maal groter haar ademminuutvolume is na inspanning.

De tweede meting werd gedaan na de inspanning. Een deel van de extra zuurstof die dan wordt opgenomen, is nodig omdat na de inspanning enkele spieren en/of spiergroepen actiever zijn dan tijdens de eerste meting (tijdens rust).

2p **3** Noteer drie spieren en/of spiergroepen waarin tijdens meting 2 meer spieractiviteit is dan tijdens meting 1.

Na een flinke inspanning wordt ook zuurstof verbruikt om het product van de anaerobe dissimilatie om te zetten.

2p **4**
- Welk product is dit?
- In welk orgaan vindt deze omzetting voornamelijk plaats?

Chantal lijdt aan astma. Bij een acute astma-aanval zijn het vooral de spiertjes rond de bronchioli die zich samentrekken.

De leerlingen willen in een respirogram weergeven hoe de ademhaling van Chantal verschilt met die van Gaby. Hierbij gaan ze ervan uit dat Chantal, hoewel ze op dat moment veel last heeft van astma, ongeveer hetzelfde ademminuutvolume tijdens rust wil bereiken als Gaby.

2p **5**
- Is haar ademfrequentie hoger dan, lager dan of gelijk aan die van Gaby?
- Is haar ademvolume groter dan, kleiner dan of gelijk aan dat van Gaby?

Als ze klaar zijn met de metingen, inhaleert Chantal een medicijn dat de spiertjes rond de bronchioli doet ontspannen. Dit medicijn heeft een werking die overeenkomt met het effect van een bepaald hormoon. Een bekende bijwerking van het medicijn is dat het de hartwerking beïnvloedt.

2p **6** Welk gevolg kan optreden als bijwerking van dit medicijn?
A Het hart gaat onregelmatig kloppen.
B Het hart gaat sneller kloppen.
C Het hart gaat trager kloppen.
D Het slagvolume wordt kleiner.

BIERTJE? OF TOCH MAAR NIET?

Bron: examen havo 2016-1, vraag 22 tot en met 26.

'Krijg je van alcoholvrij bier net zo'n bierbuik als van gewoon bier?' Dat vraagt Freek zich af. Zijn vriendin zegt dat hij verslaafd is aan bier en maakt plagerige opmerkingen over zijn figuur. Freek drinkt elke avond wel een paar biertjes en tijdens zijn stapavonden wel tien. Hij kijkt op internet en vergelijkt de voedingswaarde van alcoholvrij bier met die van gewoon bier (zie afbeelding 2).

Gewoon bier heeft een hogere energiewaarde dan alcoholvrij bier.

2p **7** Waardoor wordt het grote verschil in energiewaarde tussen die twee dranken hoofdzakelijk verklaard?
- A De alcohol uit gewoon bier levert de extra energie.
- B Gewoon bier bevat meer eiwit dan alcoholvrij bier.
- C Gewoon bier bevat meer suiker dan alcoholvrij bier.

Bij langdurig overmatig alcoholgebruik neemt de lever in omvang toe. De leverfunctie neemt echter steeds verder af. Een van de symptomen bij een falende lever is een gelige huidskleur.

2p **8** Welke van de volgende falende leverfuncties is een verklaring voor het ontstaan van deze gele kleur?
- A De lever kan minder afvalstoffen via de gal verwijderen.
- B De lever kan minder alcohol afbreken.
- C De lever kan minder aminozuren afbreken.
- D De lever kan minder glycogeen opslaan.
- E De lever kan minder niet-essentiële aminozuren aanmaken.

Als Freek 's avonds veel bier drinkt, merkt hij dat hij veel moet plassen en 's morgens een droge mond heeft. Dat komt doordat alcohol de urineproductie verhoogt.

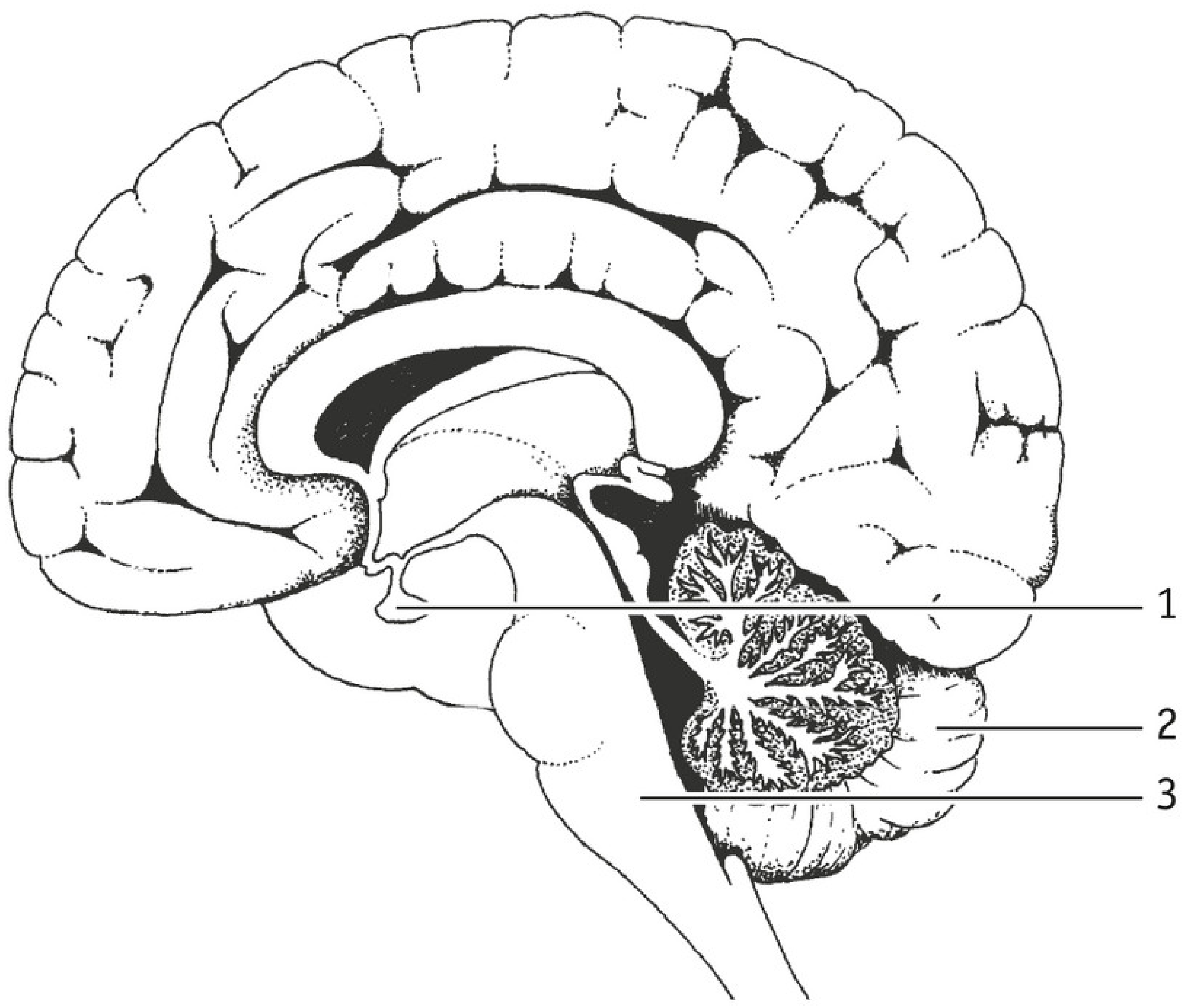
2p **9** Welke verklaring hiervoor is juist?
- A Alcohol remt de hypofyse waardoor minder ADH wordt afgegeven.
- B Alcohol remt de ultrafiltratie in de kapsels van Bowman.
- C Alcohol stimuleert de hypofyse waardoor meer ADH wordt afgegeven.
- D Alcohol stimuleert de waterresorptie in de nierbuisjes.

▼ **Afb. 2** Eenheden per 100 g bier.

	Energie (kJ)	Eiwit (g)	Koolhydraten (g)	Alcohol (g)	Vet (g)	Vitamine B1 (mg)
Bier (alc. 5% vol.)	175	0,5	3,0	4	0	0
Alcoholvrij bier	64	0,3	3,5	0	0	0

Freek besluit om geen alcohol meer te drinken. Daardoor kan hij ook zijn vrienden veilig naar huis brengen. Alcoholgebruik in het verkeer veroorzaakt veel dodelijke slachtoffers. Door een vertraagde reactiesnelheid en een verstoorde motoriek is een persoon die alcohol heeft gedronken, niet in staat om veilig aan het verkeer deel te nemen. Met een blaastest wordt bepaald of iemand te veel alcohol in zijn bloed heeft. Soms wordt een aangehouden persoon gevraagd over een rechte lijn te lopen.

▼ **Afb. 3** Delen van de hersenen.



In afbeelding 3 zijn drie delen van de hersenen met nummers aangegeven. Een dronken persoon kan niet goed over een rechte lijn lopen.

1p **10** Noteer het nummer dat het deel van de hersenen aangeeft dat dan niet goed werkt.

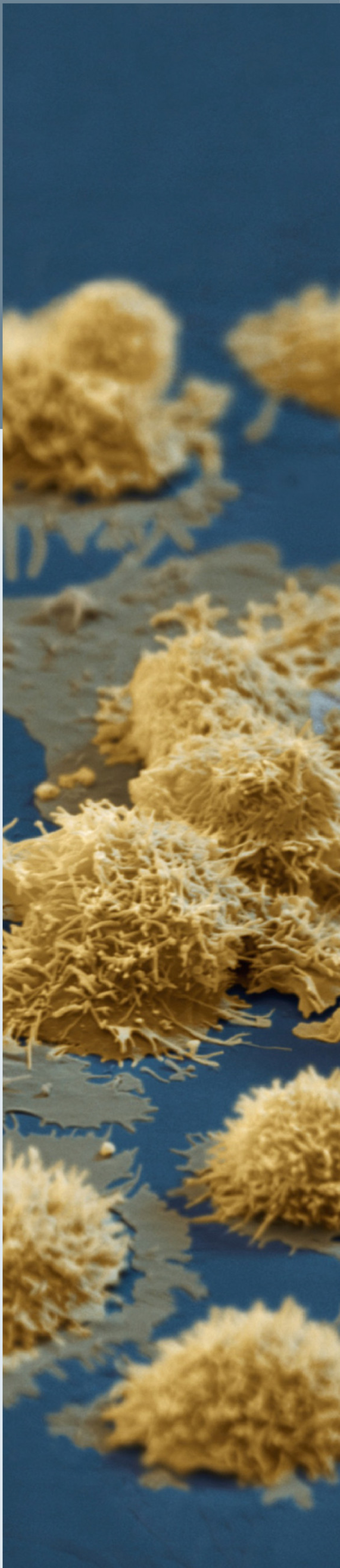
De blaastest meet de hoeveelheid alcohol die vanuit de longen in de uitgeademde lucht terechtkomt. Een aantal bloedvaten in alfabetische volgorde is: aorta, bovenste holle ader, halsslagader, longader, longslagader en onderste holle ader.

Een molecuul alcohol wordt vanuit de maag in het bloed opgenomen.

2p **11** Door welke bloedvaten is dit molecuul alcohol in elk geval gekomen als het door een blaastest wordt gemeten? Kies uit de bovenstaande bloedvaten.

6 Afweer

Het afweersysteem verdedigt het lichaam tegen ziekteverwekkers en veranderde eigen cellen. Het wordt onderverdeeld in een aangeboren afweersysteem, dat alle dieren en planten bezitten, en een verworven afweersysteem, dat alleen bij gewervelde dieren voorkomt. Dit thema gaat over de afweerreacties van mensen en planten. Ook de rol van deze afweerreacties bij orgaantransplantaties en bloedtransfusies wordt besproken.



ONTDEKKEN
Besmettingsgevaar in de crèche? 246

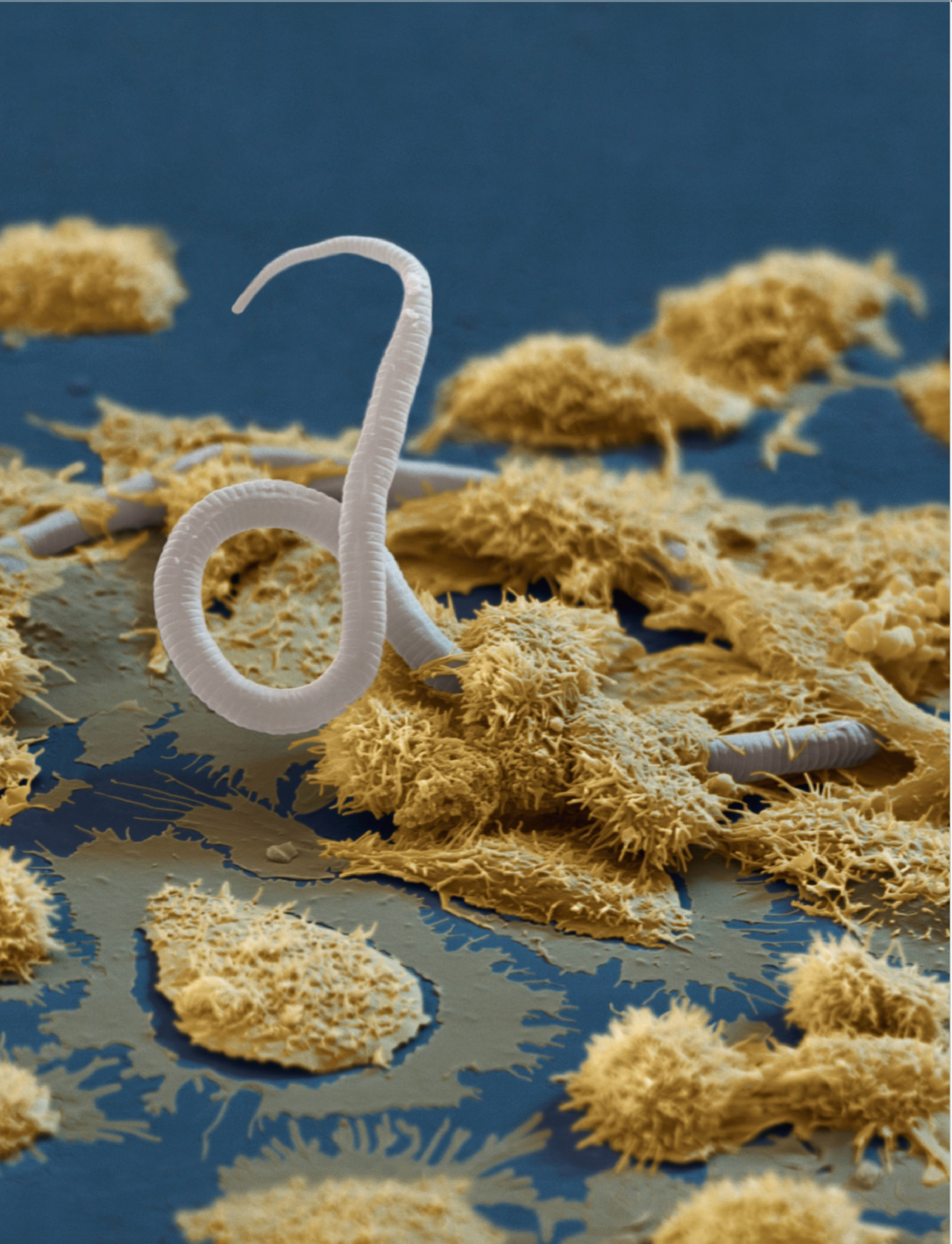
BASISSTOF
1 Bescherming 248
2 Afweer 254
3 Immuniteit 264
4 Transplantatie en bloedtransfusie 270

SAMENHANG
Poep, het meest veelzijdige medicijn 278

PRACTICA 280

SAMENVATTING 282

EXAMENTRAINER 284





Besmettingsgevaar in de crèche?

BASISSTOF 3

Jeanet en Lars herinneren het zich nog als de dag van gisteren. De crèche van hun twaalf maanden oude dochter Floor belde met het bericht dat er bij een kleuter mazelen was geconstateerd en dat deze kleuter contact had gehad met Floor.

In 2013 en 2014 was er een grote mazelenepidemie in Nederland. De meeste patiënten waren niet-gevaccineerde schoolkinderen uit orthodox-christelijke gezinnen. Daarnaast waren onder de zieken veel baby's van nog geen 14 maanden, de leeftijd waarop kinderen in Nederland worden ingeënt tegen mazelen. Tijdens de epidemie

werden ruim honderdtachtig kinderen met mazelen in het ziekenhuis opgenomen. Eén 17-jarige stierf als gevolg van de ziekte. Een paar jaar eerder, in 2008, werden bij een kleinere uitbraak van mazelen vier kinderen in het ziekenhuis opgenomen. Toen waren de zieken voornamelijk kinderen wier ouders vaccinatie hadden afgewezen op grond van hun levensovertuiging.
Floor zat al in het Rijksvaccinatieprogramma. Toch schrokken Jeanet en Lars enorm, want hun dochter was pas een jaar oud en dus nog niet ingeënt tegen mazelen.

‘Floor moest direct in quarantaine.’

Mazelen wordt veroorzaakt door het mazelenvirus. Deze zeer besmettelijke ziekte wordt overgedragen via uitademen, niezen of hoesten. Mazelen begint met koorts, hoesten, neusverkoudheid en oogontsteking. Na twee tot vier dagen ontstaan er rode vlekjes. Van de patiënten krijgt 5 tot 10% oorontsteking, soms met doofheid tot gevolg, 1 tot 5% krijgt een levensbedreigende longontsteking en bij één op de duizend patiënten leidt mazelen tot een acute hersenontsteking, vaak met blijvende hersenschade.
Ook Floor kreeg koorts en moest direct in quarantaine. Zij werd steeds zieker, dronk amper en kreeg ook nog eens longontsteking. Haar hartslag was heel hoog en ze zag er slap en uitgeput uit. Door het toedienen van zuurstof, sondevoeding en antibiotica via een infuus kon het leven van Floor worden gered.

Voor Floor is het goed afgelopen. Maar haar ouders waren achteraf verontwaardigd. Zij begrijpen niet dat ouders hun niet-ingeënte kind naar een kinderdagverblijf brengen waar ook baby’s rondkruipen die nog niet zijn ingeënt. De Brancheorganisatie Kinderopvang stelt dat crèches geen kinderen kunnen weigeren, zolang inenting niet verplicht is. Oudervereniging BOinK en een meerderheid van de Tweede Kamer vinden dat ouders in elk geval moeten worden geïnformeerd als er niet-ingeënte kinderen op de crèche zijn.

Bron: de tekst is gebaseerd op een waargebeurde situatie, de personen zijn fictief. Informatie is onder andere afkomstig uit het artikel ‘Zij gokten met het leven van mijn kind’, Maud Effting, *de Volkskrant*, 15 maart 2014.

opdrachten

Door de hoge vaccinatiegraad in Nederland (95%) is de kans op besmetting met mazelen op een kinderdagverblijf klein. Maar er zijn mensen die hun kinderen niet of niet volledig laten vaccineren. Bij veel van hen speelt religie of levensovertuiging een rol. Andere ouders zijn kritisch over de vermeende gevolgen van een inenting.

Jullie werken als biologen bij de Dienst Voorlichting van het RIVM. Jullie verzorgen daar onder andere de informatie over vaccinaties.

1 Jullie werken in viertallen.
Oriënteer je op drie verschillende tijdschriften.
- Kies drie duidelijk verschillende tijdschriften. Denk bijvoorbeeld aan een wetenschappelijk tijdschrift, een populair-wetenschappelijk blad, een vrouwenblad, een blad voor ouders, een magazine bij de zaterdagkrant of een vakblad voor werknemers in de kinderopvang.
- Beschrijf het niveau en de manier waarop (de noodzaak van) vaccineren in dit tijdschrift het best kan worden uitgelegd. Inventariseer hierbij welke toon, diepgang en invalshoek nodig zijn voor het tijdschrift van jullie keuze.

2 Schrijf een artikel van maximaal één A4’tje voor jullie tijdschrift naar keuze.
- Leg in het artikel uit hoe immuniteit ontstaat en welke verschillende vormen van immuniteit er zijn.
- Geef ook informatie over (de noodzaak van) vaccinatie. Gebruik hierbij biologische en/of ethische argumenten, gericht op de doelgroep waarvoor je schrijft.
- Gebruik in jullie artikel de volgende begrippen: *actieve immuniteit – kunstmatige immuniteit – natuurlijke immuniteit – passieve immuniteit – vaccinatie*.

De informatie die je nodig hebt voor het artikel vind je op de websites van het RIVM en het Rijksvaccinatie-programma en in basisstof 3 van dit thema.

3 Vorm nieuwe groepen van vier personen. In deze nieuwe samenstelling gaan jullie alle artikelen nauwkeurig bekijken.
- Verzamel uit de artikelen alle argumenten voor en tegen vaccinatie. Maak daarbij onderscheid tussen biologische en ethische argumenten.
- Sluit jullie analyse van de artikelen af met een conclusie van maximaal een half A4’tje.

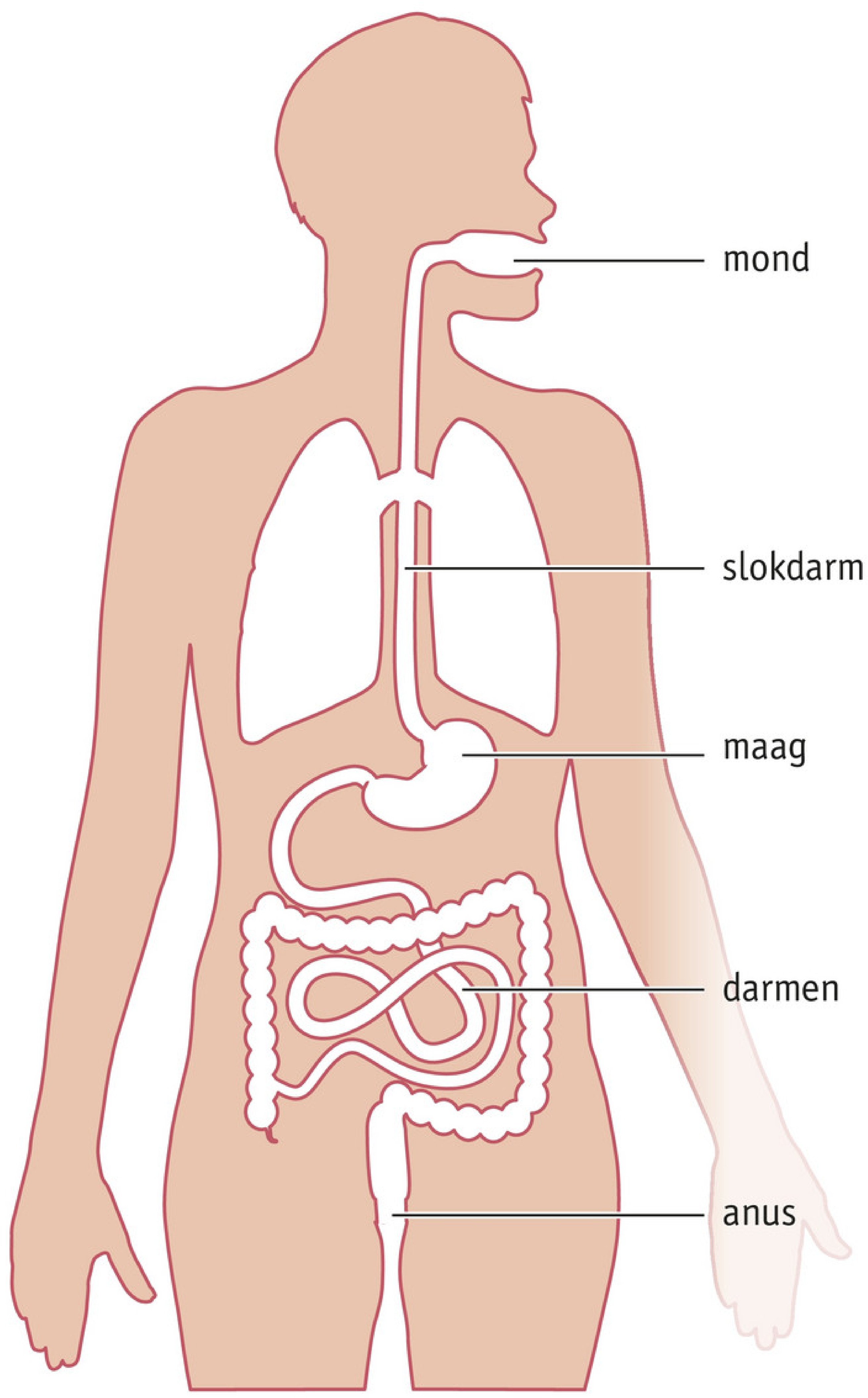
Leerdoelen
- Je kunt de werking en functie van de huid bij de afweer van de mens beschrijven.
- Je kunt de afweermechanismen van planten herkennen.

1 Bescherming

Tussen het inwendige en het uitwendige milieu ligt een beschermende grens van ongeveer 2 m^2 huid, 80 m^2 longslijmvlies en 350 m^2 darmslijmvlies. Gevaarlijke schimmels, bacteriën, virussen en parasieten liggen constant op de loer, maar dringen bijna nooit ons lichaam binnen.

INWENDIG EN UITWENDIG MILIEU
Je lichaam wordt constant belaagd door organismen uit de omgeving die je ziek kunnen maken. Veel van deze **ziekteverwekkers** (pathogenen) zijn erg klein, zoals virussen en bacteriën. Andere zijn groter, zoals schimmels en dieren (bijvoorbeeld insecten).
Het inwendige milieu is gescheiden van het uitwendige milieu door het dekweefsel van de huid, de longen en de darmen (zie afbeelding 1). De inhoud van het maag-darmkanaal hoort bij het uitwendige milieu. Je kunt dit kanaal vergelijken met een holle pijp die is aangesloten op de buitenwereld.
In afbeelding 1 is het inwendige milieu roze gekleurd. Dit deel van het lichaam kan alleen worden bereikt nadat een celmembraan is gepasseerd.

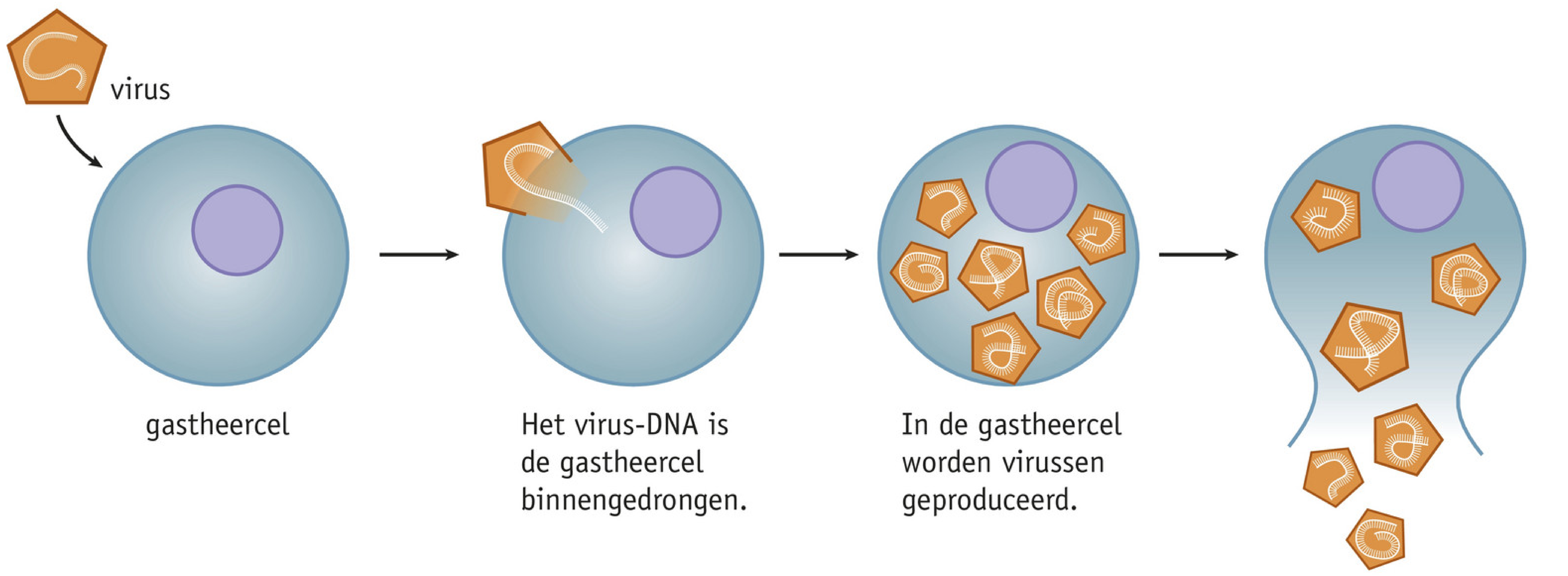
▶ **Afb. 1** Inwendig en uitwendig milieu.



LICHAAMSVREEMDE STOFFEN
Het binnendringen van ziekteverwekkers in je lichaam wordt een **infectie** genoemd. Bij een infectie met bacteriën, schimmels en dieren ontstaan de ziekteverschijnselen veelal door de giftige stoffen die ze afgeven. Schimmels infecteren meestal de huid of de luchtwegen, terwijl bacteriën, virussen en

eencellige dieren vaak ook de rest van het lichaam binnendringen.
Virussen infecteren cellen van je lichaam. Veel virussen bestaan uit een streng DNA of RNA met daaromheen een eiwitmantel. Het virus-DNA wordt bij een infectie overgebracht naar gastheercellen. Na het binnendringen van het virus-DNA in de gastheercellen vermenigvuldigt het virus zich in deze cellen, waardoor de cellen doodgaan (zie afbeelding 2).

▼ **Afb. 2** De vermenigvuldiging van een virus.



Je kunt ook ziek worden van stoffen die je inademt of inslikt of die via je huid binnendringen. Stoffen of cellen die niet in je lichaam thuishoren, heten **lichaamsvreemd**. Het afweersysteem (of immuunsysteem) beschermt je tegen lichaamsvreemde organismen en lichaamsvreemde stoffen. **Lichaamseigen** stoffen of cellen worden door je lichaam gemaakt of zijn onderdeel van je lichaam. Deze worden normaal gesproken niet door je afweersysteem aangevallen.
In afbeelding 3 zijn enkele ziekteverwekkers weergegeven.

▼ **Afb. 3** Ziekteverwekkers.



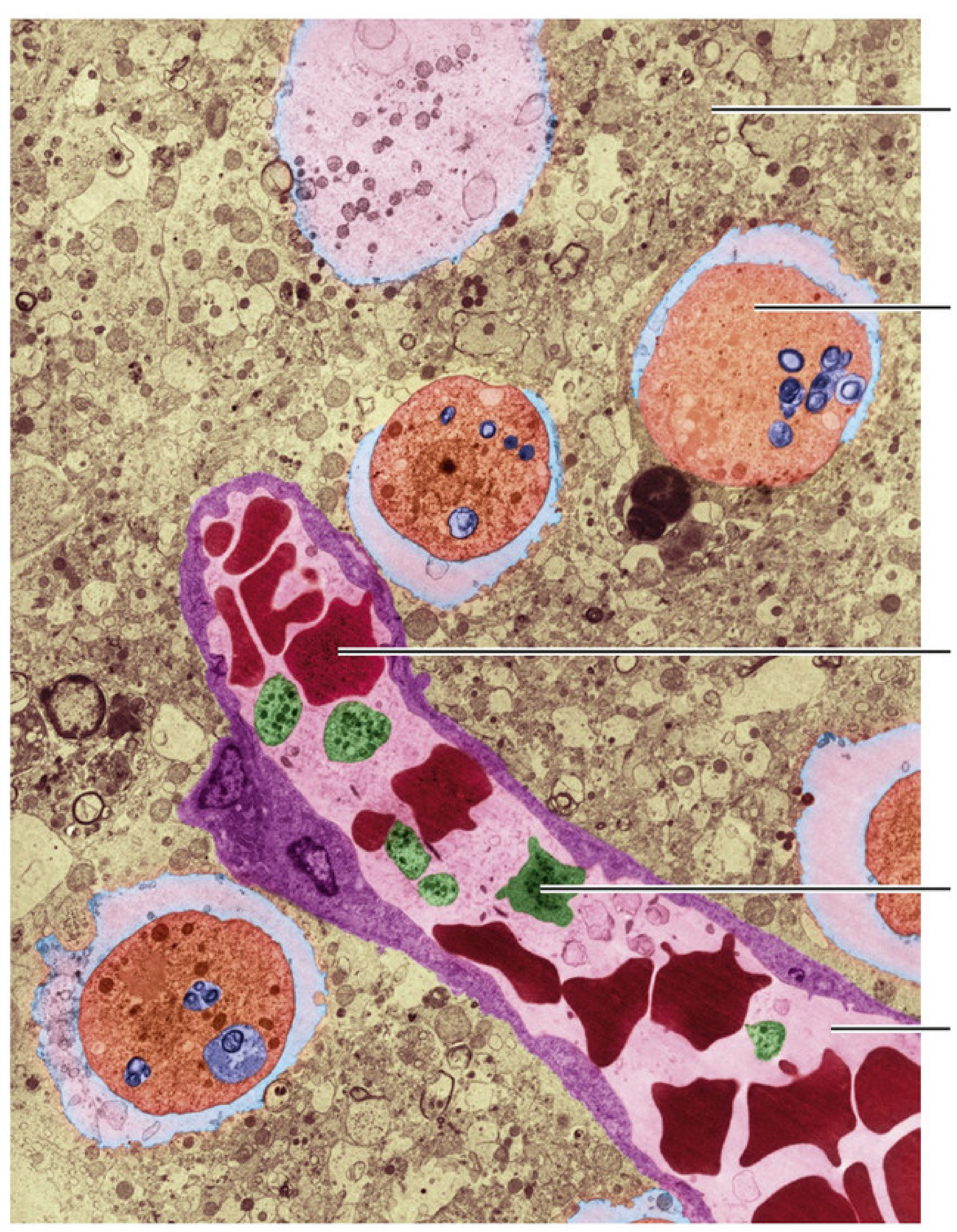
1 Syfilis wordt door een bacterie veroorzaakt.



2 Zwemmerseczeem wordt door een schimmel veroorzaakt.



3 Polio wordt door een virus veroorzaakt.

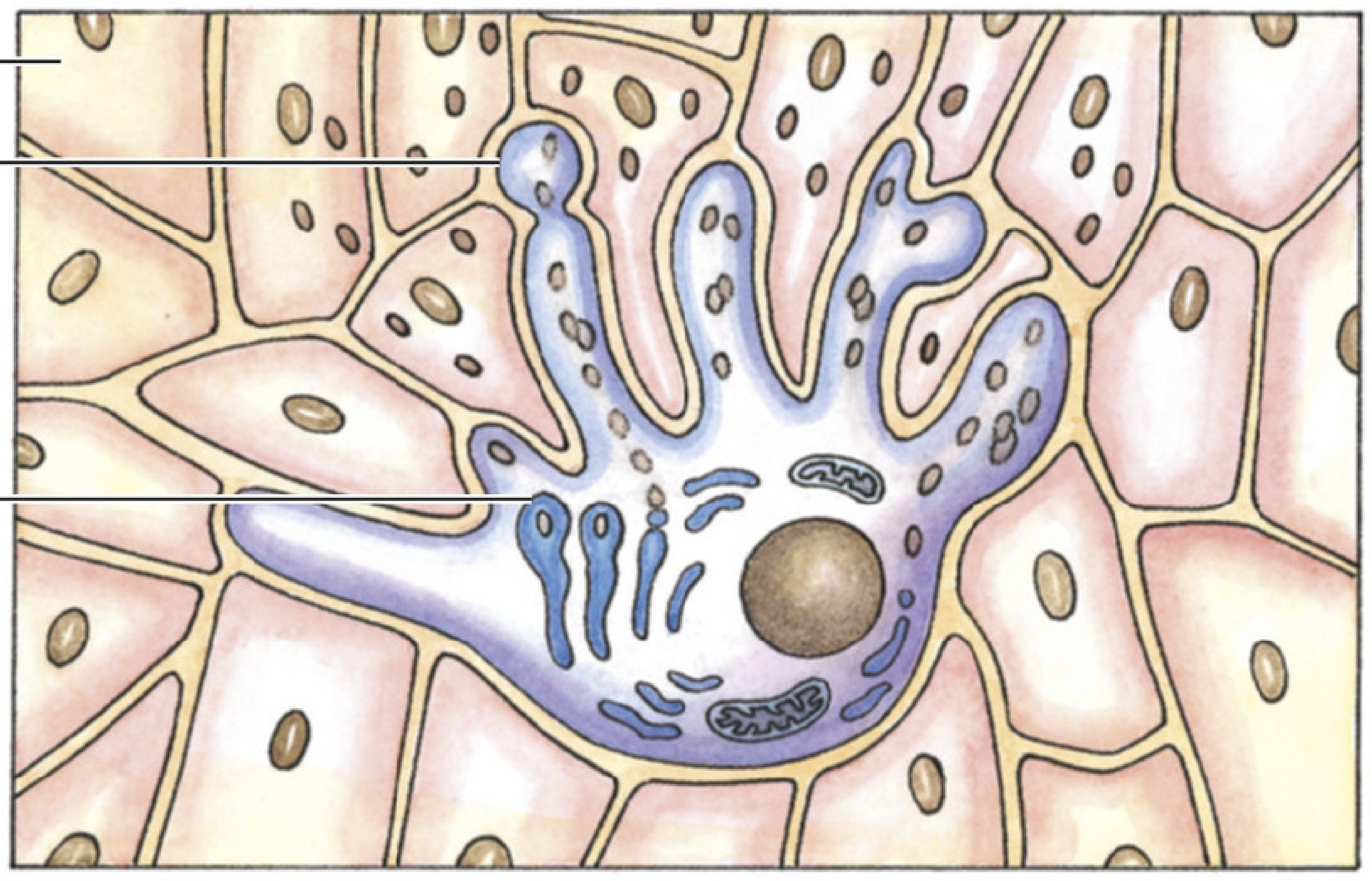


4 *Naegleria fowleri* is een hersenetende amoebe. De amoebe dringt via de neus binnen en klimt via de zenuwcellen naar het brein, waar het de breincellen ‘opslurpt’ met een zuignapje. Een infectie met *Naegleria fowleri* komt zelden voor.

DE EERSTE VERDEDIGINGSLINIE

De **huid** en de **slijmvliezen** vormen de eerste verdedigingslinie in de bescherming tegen gevaren van buitenaf. Door de bouw van de huid dringen ziekteverwekkers en schadelijke stoffen moeilijk binnen. Daar waar openingen in de huid zitten, zoals bij de ogen, de neus en de mond, zorgen slijmvliezen ervoor dat ziekteverwekkers moeilijk kunnen binnendringen. Traanvocht en speeksel spoelen indringers weg, terwijl slijm in de neus (snot), de luchtwegen, het verteringsstelsel, het uitscheidingsstelsel en het voortplantingsstelsel ziekteverwekkers opvangt en tegenhoudt. Dit zijn voorbeelden van **mechanische afweer**, omdat het gaat om afweer met behulp van fysieke aanpassingen.
Chemische afweer is het gebruik van stoffen om indringers buiten te houden. Maagsap bijvoorbeeld bevat onder andere zoutzuur (HCl opgelost in water). Door de zeer lage pH (1–2) worden veel ziekteverwekkers in het voedsel gedood. Op de huid zorgen zweet en olie voor een pH van 3–5, waardoor veel schadelijke bacteriën niet op de huid kunnen groeien.
Op de huid en in het darmkanaal bevinden zich ook veel goede bacteriën. Deze helpen het lichaam te beschermen tegen ziekteverwekkers. Waar goede bacteriën leven, is vaak geen plaats voor andere (schadelijke) bacteriën. De bacteriën op de huid en in de darmen horen bij de mechanische afweer.

De huid beschermt het lichaam niet alleen tegen het binnendringen van ziekteverwekkers, maar ook tegen invloeden van buitenaf, zoals beschadiging, waterverlies door verdamping en DNA-beschadiging door ultraviolette straling.
In de kiemlaag liggen pigmentvormende cellen: de melanocyten (melanos = zwart). Deze vormen het donkere pigment **melanine**, dat ze via hun uitlopers afgeven aan de nabijgelegen opperhuidcellen (zie afbeelding 4). De vorming van melanine wordt gestimuleerd door blootstelling van de huid aan zonlicht. Melanine beschermt de delende cellen in de kiemlaag tegen de schadelijke invloed van ultraviolette straling in zonlicht.



Afb. 4 Een melanocyt in de opperhuid.

opdrachten

1 a Wat is het verschil tussen mechanische en chemische afweer?
b Behoren de inhoud van de baarmoeder en de urineblaas tot het uitwendige of tot het inwendige milieu? Leg je antwoord uit.
c Behoren hoesten, niezen en braken tot de mechanische of de chemische afweer? Leg je antwoord uit.

2 In afbeelding 5 is een onderzoek weergegeven.
- a Formuleer een onderzoeksvraag die bij dit onderzoek past.
- b Formuleer een hypothese die bij dit onderzoek past.
- c Leg uit hoe de controlegroep werd behandeld.
- d Uit welke huidproducten zullen de bacteriën hun voedsel halen?
- e Welke vorm van symbiose bestaat er tussen de mens en de op zijn huid levende bacteriën? Leg je antwoord uit.

▼ **Afb. 5**

ONDERZOEK	**HUIDBACTERIËN BESCHERMEN TEGEN ZIEKTEVERWEKKERS**
Inleiding	Op de huid komen veel bacteriën voor die in poriën leven en daar hun voedselbron hebben. Deze huidbacteriën hebben mogelijk een functie bij het verdedigen van de gastheer tegen ziekteverwekkers.
Onderzoeksvraag	
Hypothese	
Experiment	Menselijke huidbacteriën worden met een wattenstaafje op een groep steriele muizen gestreken en een andere groep steriele muizen wordt gebruikt als controlegroep. Daarna krijgen beide groepen een injectie in de huid met een agressieve vijandelijke, eencellige dierlijke parasiet.
Resultaat	De muizen met menselijke huidbacteriën krijgen minder vaak en minder ernstige ontstekingen en huidaandoeningen dan de muizen die niet zijn voorzien van menselijke huidbacteriën.
Conclusie	De hypothese is bevestigd.

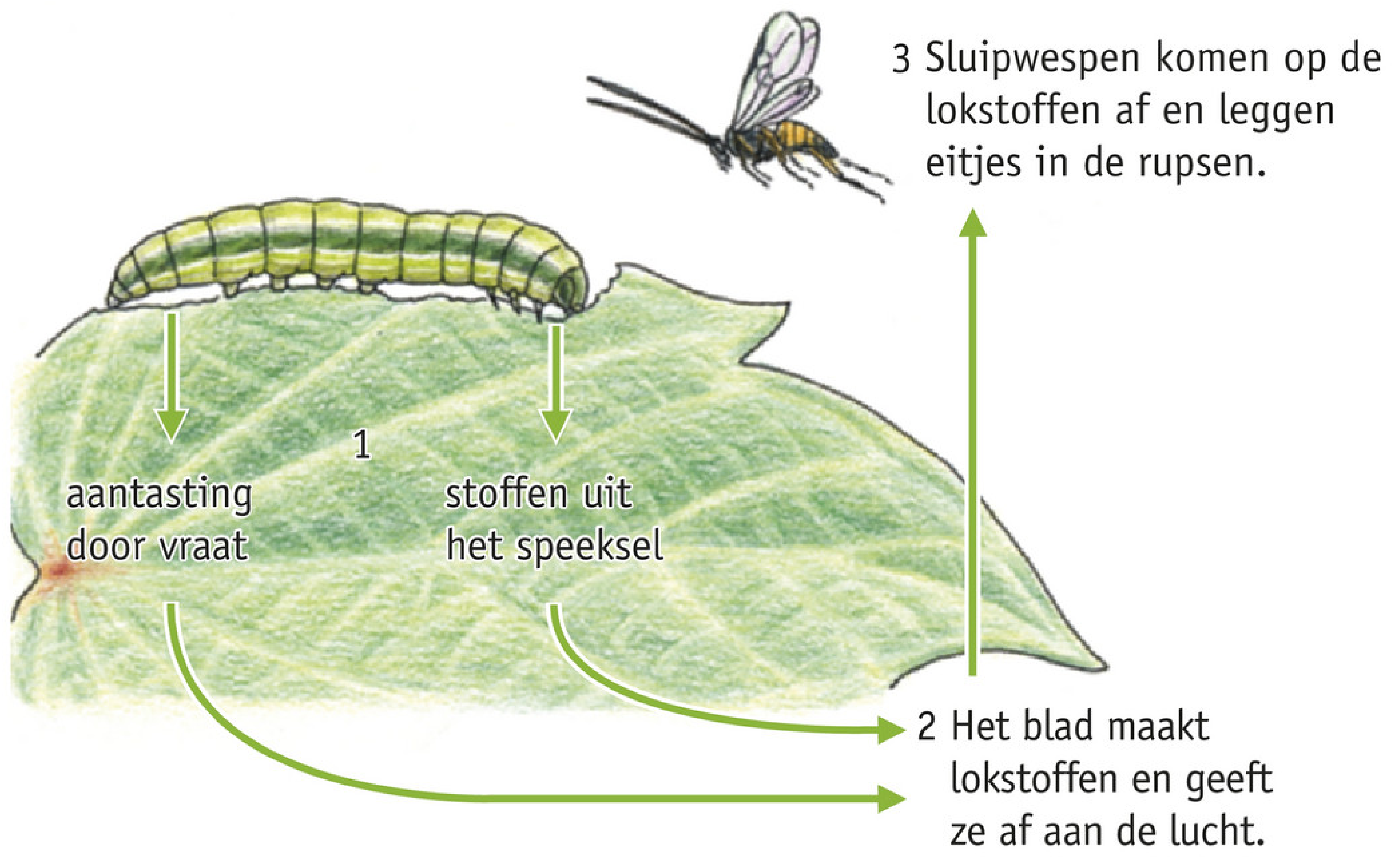
BESCHERMING BIJ PLANTEN

Planten staan aan het begin van de voedselketen en worden dus voortdurend gegeten door dieren. Om zich te beschermen tegen vraat of infecties hebben planten afweermechanismen ontwikkeld. Deze afweermechanismen kun je onderverdelen in drie groepen: mechanische afweer, chemische afweer en indirecte afweer.

Onder mechanische afweer van planten vallen uiterlijke aanpassingen, zoals haren, stekels en doornen om vraat tegen te gaan. Bij chemische afweer maken planten stoffen aan die niet lekker of zelfs dodelijk zijn voor herbivoren. Cafeïne bijvoorbeeld verlamt bepaalde insecten, en nicotine is dodelijk.

Bij **indirecte afweer** maakt een plant een lokstof aan die de natuurlijke vijand van zijn belager aantrekt. Een voorbeeld van zo'n belager is de rups van het koolwitje, met als natuurlijke vijand de sluipwesp. Als reactie op vraat door rupsen maakt de plant een lokstof aan die sluipwespen aantrekt (zie afbeelding 6). De eitjes van de sluipwesp ontwikkelen zich in de rups en eten deze van binnenuit op.

▶ **Afb. 6** Een plant verdedigt zich tegen een rups met behulp van een sluipwesp.



opdracht

3 In afbeelding 7 is een onderzoek weergegeven naar bescherming tegen vraat door haartjes.
- **a** Tot welk type afweermechanisme behoren haartjes op peulen van sojaplanten?
- **b** Hoe konden harige peultjes in het verleden bij sojaplanten ontstaan?
- **c** Stel een hypothese op bij dit onderzoek.
- **d** Wat is de conclusie van dit onderzoek?
- **e** Hoe zou je dit experiment kunnen verbeteren?
- **f** Leg uit dat harige peulen bij sojaplanten een evolutionair voordeel hadden.

▼ **Afb. 7**

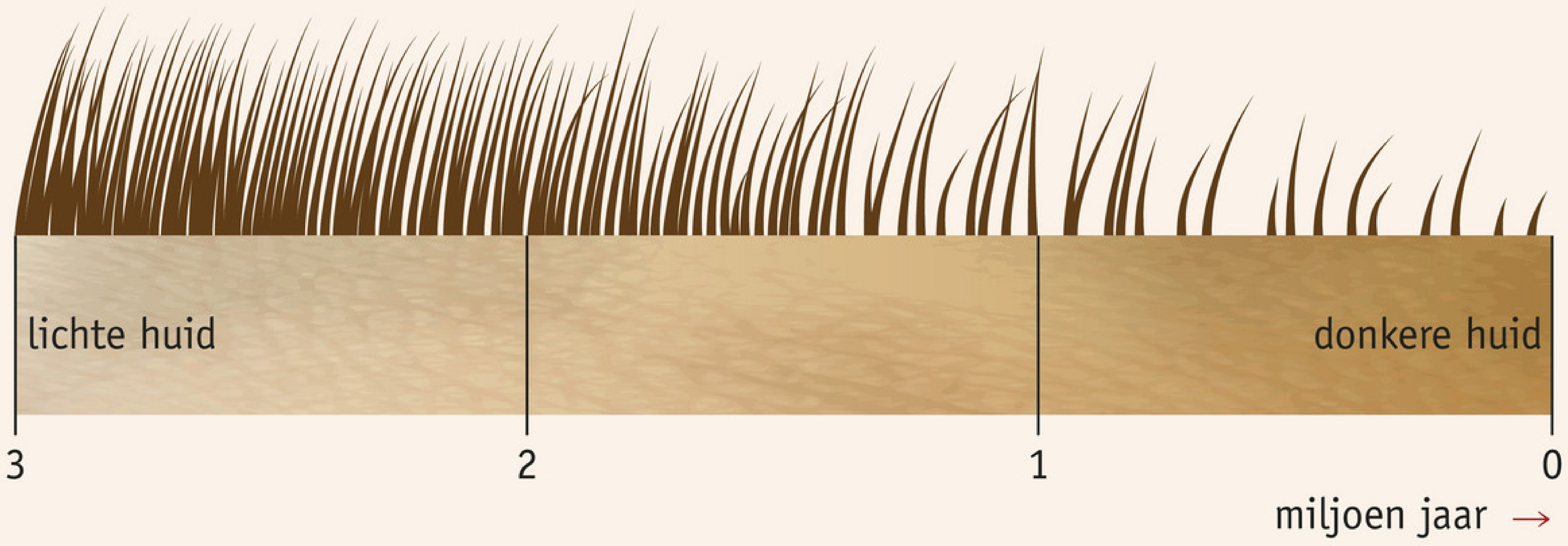
ONDERZOEK	HAARTJES BESCHERMEN TEGEN VRAAT
Inleiding	Planten met haartjes lijken beter te zijn beschermd tegen vraat dan planten zonder haartjes. Om dit te onderzoeken, kweekten onderzoekers in drie verschillende kassen sojaplanten waaraan peulen groeiden met veel, weinig en geen haartjes.
Onderzoeksvraag	Zijn sojabonen met haartjes beter beschermd tegen vraat door kevers?
Hypothese	
Experiment	In drie verschillende kassen staan sojaplanten waaraan peulen groeien met respectievelijk veel, weinig en geen haartjes. In elke kas worden kevers losgelaten. Na 24 uur wordt gekeken wat de schade aan de peulen is.
Resultaat	Peulen met veel haartjes vertonen 10% vraat, peulen met weinig haartjes vertonen 25% vraat en gladde peulen vertonen 40% vraat.
Conclusie	

CONTEXT Wetenschap

Huidskleur en vitamine D

Mensapen hebben onder hun harige vacht een lichtgekleurde huid. Tijdens de evolutie is bij de mens een groot deel van de beharing verdwenen. Hierbij veranderde de huidskleur van licht naar donker (zie afbeelding 8). Net als een vacht biedt een donkere huidskleur bescherming tegen uv-straling. Blootstelling aan te veel uv-straling kan leiden tot huidkanker. Uv-straling beschadigt ook foliumzuur (vitamine B11). Foliumzuur vervult een belangrijke rol in de synthese van DNA en in de aminozuurstofwisseling. Vrouwen met een tekort aan foliumzuur hebben een verhoogde kans op het krijgen van kinderen met groeistoornissen en geboorteafwijkingen.
Volgens sommige onderzoekers trok zo'n 65 000 jaar geleden een groep mensen vanuit Afrika naar Azië en Europa. Daar zouden ze in een proces dat 10 tot 20 000 jaar heeft geduurd weer een lichtgekleurde huid hebben gekregen. Volgens de onderzoekers had dit te maken met vitamine D. In een lichte huid wordt namelijk veel sneller vitamine D gemaakt dan in een donkere huid. Een tekort aan vitamine D veroorzaakt rachitis (de 'Engelse ziekte') die onder andere leidt tot afwijkingen aan het beenderstelsel. Door rachitis kan het bekken vervormen, wat invloed kan hebben op de voortplanting. Vitamine D speelt daarnaast ook een belangrijke rol in het afweersysteem.

▶ **Afb. 8** Evolutie van de huid tot 65 000 jaar geleden.



opdracht

4 Hoe lichter de huid is, hoe groter de kans op het ontstaan van huidkanker.

a De kans op het krijgen van huidkanker is echter geen verklaring voor de verandering van een lichte naar een donkere huid. Leg dit uit.

b Leg uit dat in Afrika bij de afwezigheid van beharing een donkere huid een evolutionair voordeel heeft boven een lichte huid.

c Leg uit hoe een donkere huidskleur zich kon verspreiden over Afrika.

d Leg uit hoe zich volgens de onderzoekers de lichte huid op het noordelijk halfrond kon verspreiden.

Leerdoelen

- Je kunt de vormen van aangeboren afweer beschrijven.
- Je kunt de vormen van verworven afweer beschrijven.

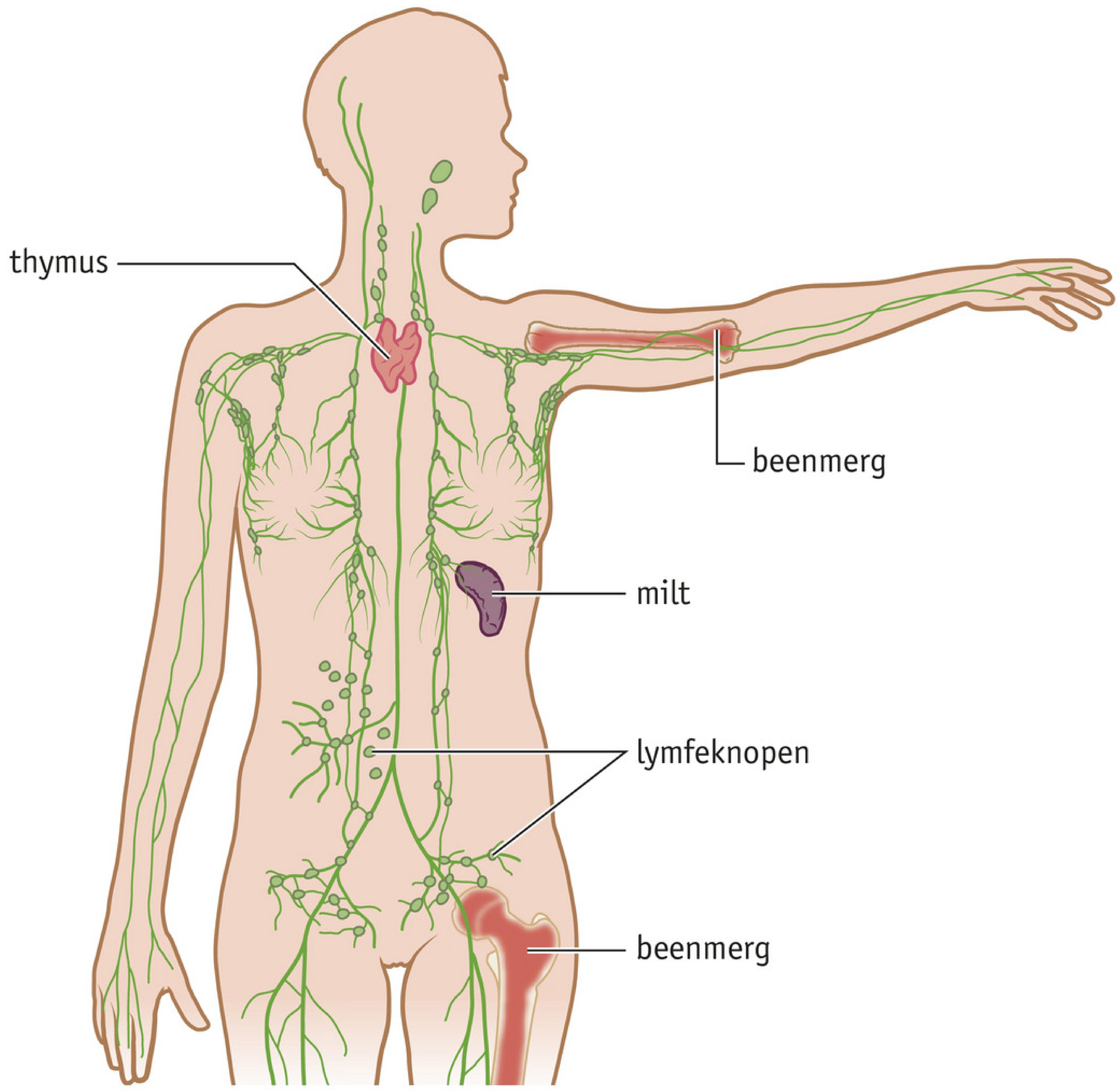
2 Afweer

In je darmen leven meer dan drie keer zoveel bacteriën als het aantal lichaamscellen dat je hebt. De grens tussen het inwendige en het uitwendige milieu is hier slechts één cellaag dik. Jouw afweersysteem strijdt hier continu tegen ziekteverwekkers, maar laat de lichaamsvreemde stoffen uit je voeding met rust.

HET AFWEERSYSTEEM

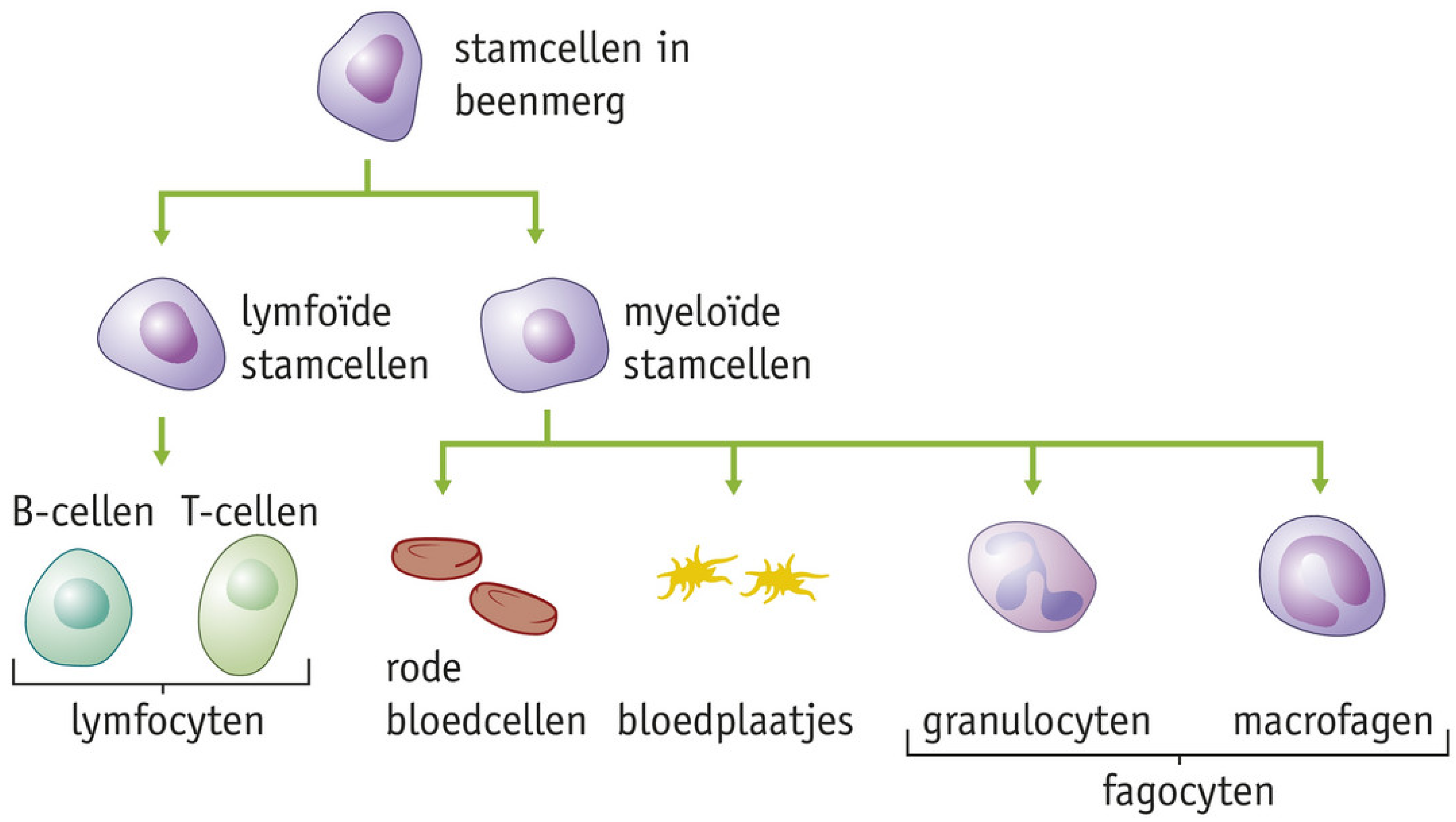
Wanneer ziekteverwekkers of schadelijke stoffen binnendringen in het interne milieu, wordt het afweersysteem geactiveerd. Binnen het afweersysteem worden twee typen onderscheiden: aangeboren afweer en verworven afweer. De aangeboren afweer werd vroeger de aspecifieke afweer genoemd, de verworven afweer stond bekend als de specifieke afweer. De **aangeboren afweer** is gericht tegen vele verschillende typen ziekteverwekkers, komt voor bij alle dieren en planten en dient als een snelle eerste afweer tegen infectie. De aangeboren afweer is daarnaast de basis voor de verworven afweer. De **verworven afweer** is het deel van je afweersysteem dat je gedurende je leven ontwikkelt. Deze afweer is gericht tegen één type ziekteverwekker en komt alleen bij gewervelde dieren voor. Belangrijke organen van het afweersysteem zijn het beenmerg, de thymus, de milt en de lymfeknopen (zie afbeelding 9). Dit worden de lymfoïde organen genoemd.

▶ **Afb. 9** De ligging van enkele belangrijke organen van het afweersysteem.



In het **rode beenmerg** ontstaan verschillende typen witte bloedcellen: **fagocyten** en **lymfocyten** (zie afbeelding 10). Na hun ontstaan komen deze witte bloedcellen in het bloed terecht, waar ze lichaamsvreemde virussen en bacteriën bestrijden. De fagocyten maken onderdeel uit van de aangeboren afweer, de lymfocyten horen bij de verworven afweer. Na hun ontstaan ontwikkelen sommige lymfocyten zich verder in de thymus, een klier boven in de borstholte. De milt en de lymfeknopen hebben een functie bij de opslag en het transport van witte bloedcellen.

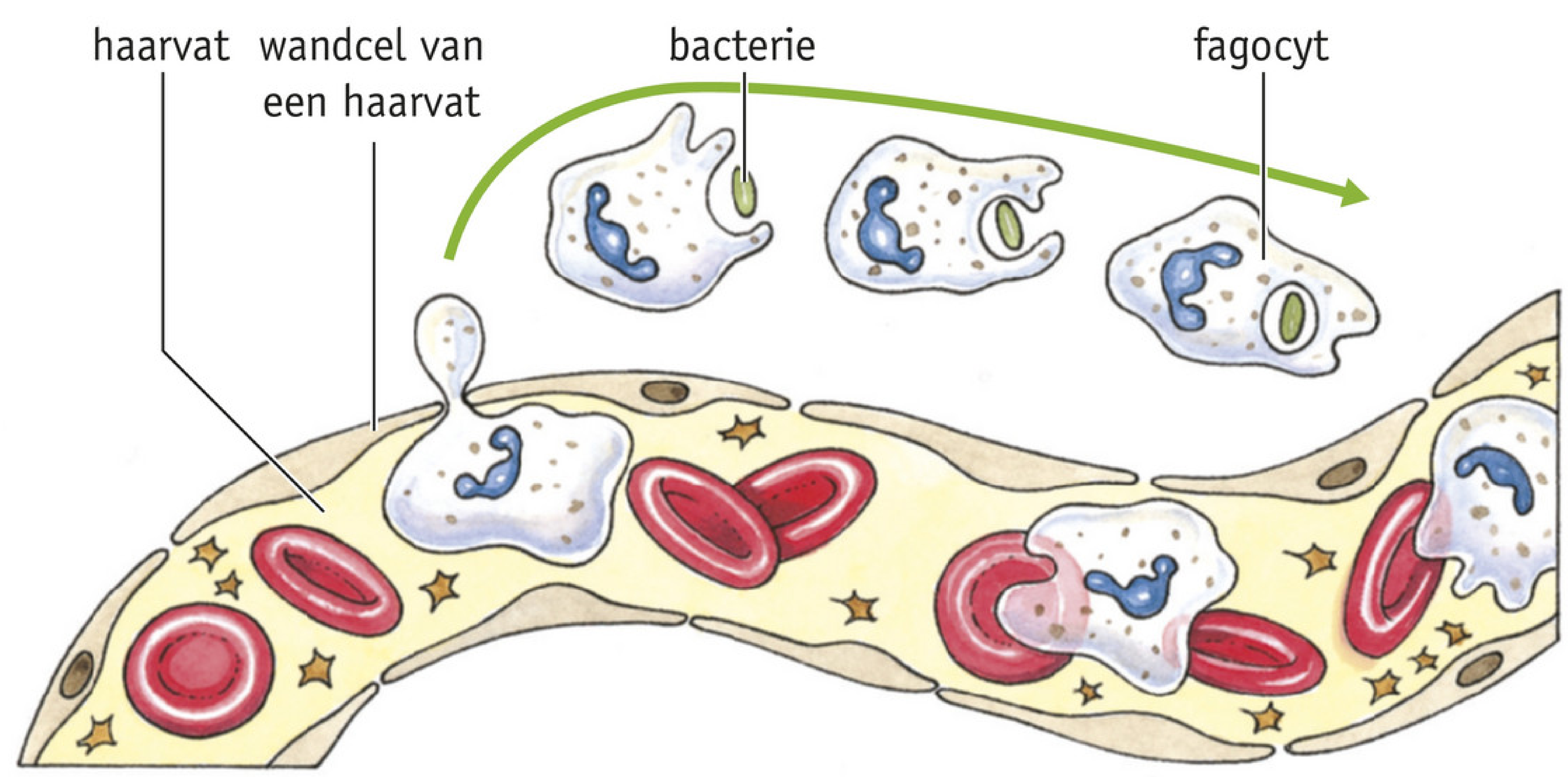
▶ **Afb. 10** Het ontstaan van witte bloedcellen (schematisch).



AANGEBOREN AFWEER

Als een ziekteverwekker het lichaam van een mens is binnengedrongen, wordt hij vrijwel direct aangevallen door witte bloedcellen, vooral macrofagen. **Macrofagen** (letterlijk: grote eter, veelvraat) zijn fagocyten die zich door het hele lichaam verplaatsen (zie afbeelding 11). Ze reageren snel op binnendringende ziekteverwekkers en maken deze binnen enkele minuten na binnenkomst onschadelijk door ze in zich op te nemen (fagocyteren). Macrofagen maken geen onderscheid tussen verschillende ziekteverwekkers, maar ruimen als een grote stofzuiger snel alle binnendringers op.

▶ **Afb. 11** Fagocyt die een bacterie opneemt.



Macrofagen kunnen koorts veroorzaken. In reactie op een ziekteverwekker scheiden ze een stof af die de normwaarde voor de lichaamstemperatuur verhoogt. Als de normwaarde van 37 °C hoger wordt, gaat het lichaam rillen om warmte op te wekken. Ook gaat het lichaam warmteverlies tegen door de bloedvaten in de huid te vernauwen. Je ziet daardoor bleekjes. Door de hoge lichaamstemperatuur bij koorts worden de afweerreacties in het lichaam versneld.

De afweer van het lichaam tegen bacteriën kan tijdelijk worden versterkt door het gebruik van antibiotica. Een **antibioticum** is een medicijn dat bacteriële infecties bestrijdt. Antibiotica werken dus niet tegen infecties door virussen. Er zijn verschillende typen antibiotica, waarvan penicilline het bekendst is. Een belangrijk nadeel van antibiotica is dat bacteriën er ongevoelig voor kunnen worden. Hoe vaker je antibiotica gebruikt, hoe groter de kans dat bacteriën ongevoelig worden. Artsen zijn daarom terughoudend met het voorschrijven van antibiotica.

Afb. 12 Aantal levende bacteriën in de tijd.

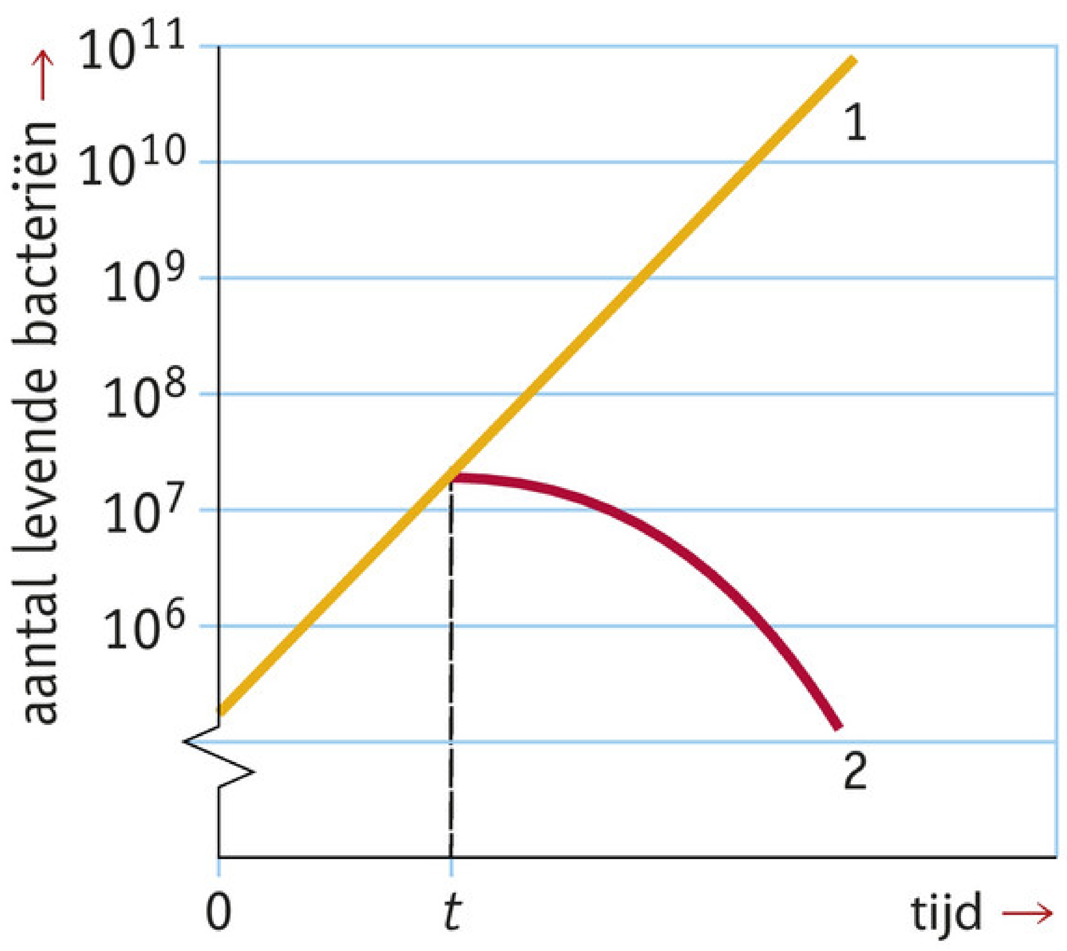


diagram 1

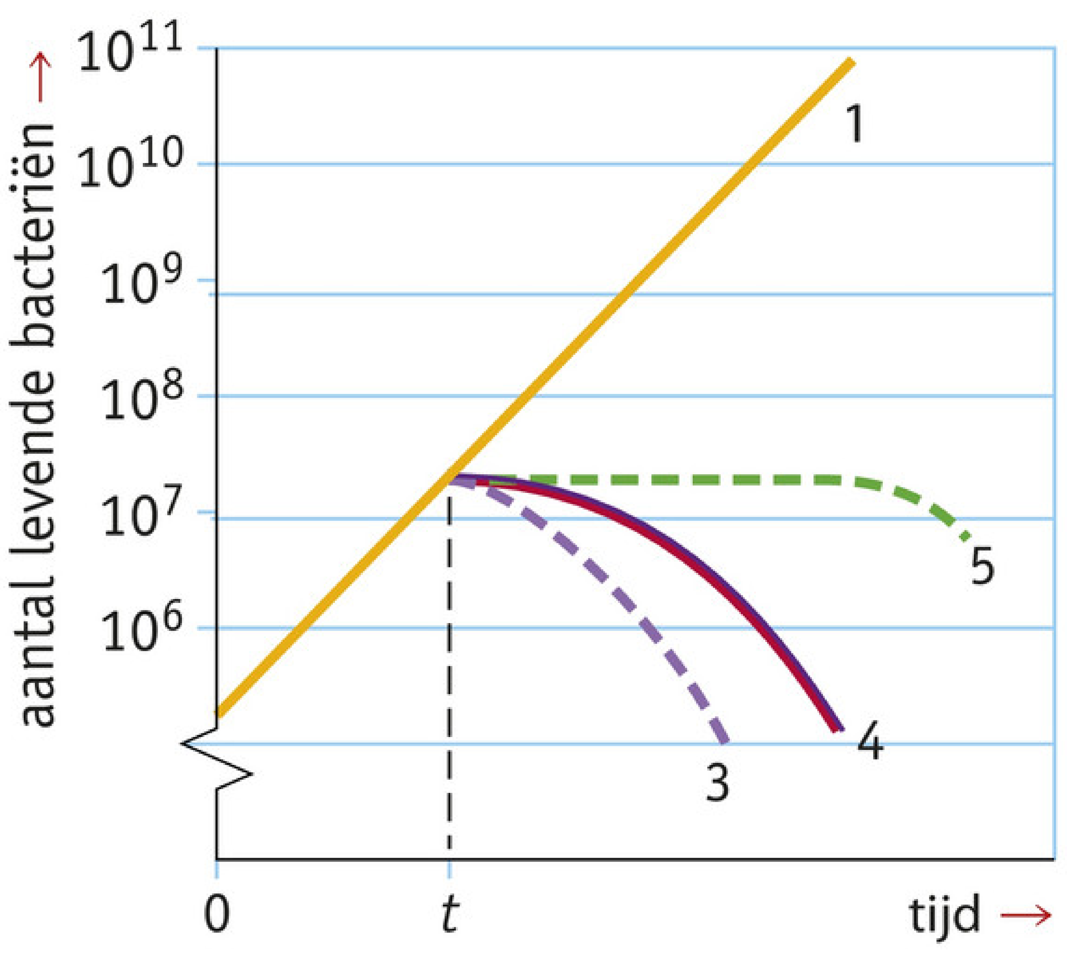


diagram 2

opdrachten

5 **a** In het slijmvliesweefsel van de luchtwegen komen relatief veel macrofagen voor. Leg uit dat dit functioneel is.
b Soms weet een griepvirus toch via de luchtwegen binnen te dringen. Iemand heeft op die manier een griepvirus opgelopen en voelt zich rillerig. Leg uit waardoor het rillerige gevoel wordt veroorzaakt.
c Leg uit dat bij griep geen antibiotica worden voorgeschreven, maar dat patiënten vooral door bedrust moeten genezen.
d Leg uit waardoor koorts ervoor zorgt dat de afweerreacties in het lichaam versnellen.

6 Elk jaar sterven in Nederland minstens tachtig mensen aan een voedselvergiftiging. Bij een voedselvergiftiging maakt een giftige stof in het eten je ziek. Zo'n giftige stof wordt geproduceerd door bacteriën of schimmels. Een voedselinfectie wordt veroorzaakt door eten met een ziekmakende hoeveelheid bacteriën, parasieten of virussen erin. Bij een voedselinfectie komt de bacterie of het virus in de darm terecht. Dit prikkelt de darmwand of tast deze aan. Enkele uren tot twee dagen na besmetting ontstaan heftige buikkrampen en diarree. Soms gaat dit samen met overgeven. Naar: www.voedingscentrum.nl.
a Leg uit dat bij voedselvergiftiging geen antibioticum kan worden gebruikt en bij sommige voedselinfecties wel.
b Wat is de reden dat het lichaam op een voedselvergiftiging of voedselinfectie reageert met diarree?

7 Gedurende een aantal dagen worden in een voedingsvloeistof bacteriën gekweekt. Het aantal bacteriën in de voedingsvloeistof wordt geteld. Het verloop van dit aantal is in afbeelding 12.1 weergegeven door lijn 1. Lijn 2 geeft het verloop aan als op tijdstip *t* een bacteriedodend antibioticum aan de vloeistof wordt toegevoegd.
a Er zijn ook antibiotica die bacteriën niet doden, maar die de deling van de bacteriën remmen. Welke lijn (3, 4 of 5) van afbeelding 12.2 geeft het verloop aan van het aantal levende bacteriën wanneer op tijdstip *t* een antibioticum wordt toegediend dat de deling van de bacteriën volledig stillegt? Leg je antwoord uit.
b Sanne heeft blaasontsteking en gaat daarvoor naar de huisarts. Deze schrijft een antibioticumkuur voor, maar met een te lage dosering. Leg uit dat dit tot resistentie kan leiden.

VERWORVEN AFWEER

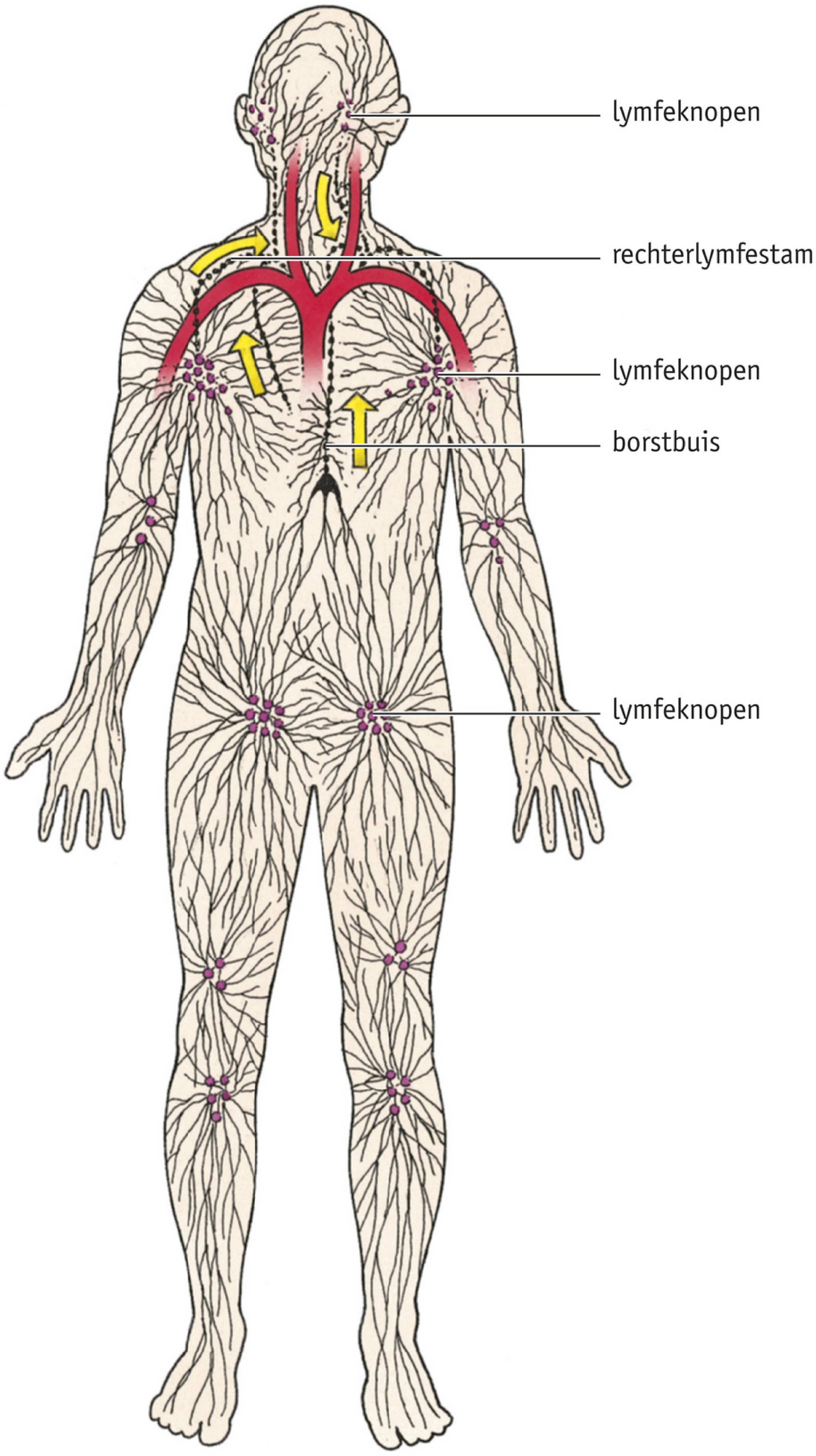
Macrofagen reageren snel op binnendringende ziekteverwekkers, maar doordat bacteriën en virussen zich enorm snel kunnen vermeerderen, zijn er vaak niet voldoende macrofagen om de ziekteverwekkers te bestrijden. Daarvoor hebben ze hulp nodig van het tweede afweersysteem: de verworven of adaptieve afweer.

Bij de verworven afweer zijn de lymfocyten betrokken. Lymfocyten herkennen indringers aan antigenen. Een **antigeen** is een molecuul dat het afweersysteem kan activeren. Antigenen zijn grote moleculen, vaak eiwitten, die zich op celmembranen bevinden.
Het herkennen van lichaamsvreemde antigenen gebeurt door **receptoreiwitten** op celmembranen van lymfocyten. Deze receptoreiwitten zijn specifiek: elk type receptoreiwit kan slechts één type antigeen binden (sleutel-slotprincipe). Elke

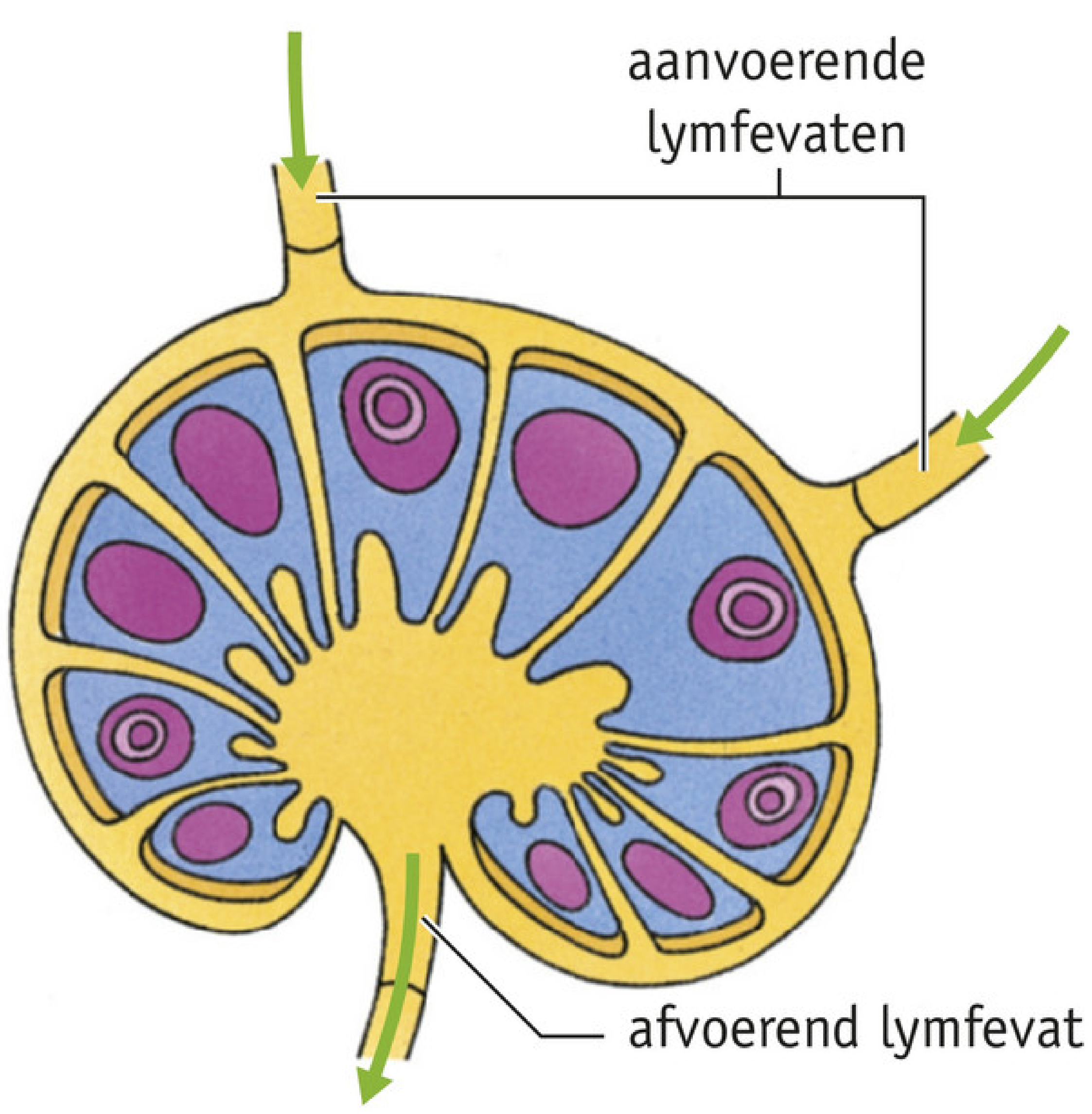
lymfocyt heeft slechts één type receptoreiwit, maar van dit ene receptoreiwit komen er wel honderdduizend voor op het celmembraan van de lymfocyt. Om al die verschillende antigenen van ziekteverwekkers die het lichaam mogelijk binnendringen, te kunnen binden, maakt het lichaam miljoenen verschillende lymfocyten met elk hun eigen type receptor.

Lymfocyten ontstaan uit stamcellen in het rode beenmerg (zie afbeelding 10). Sommige lymfocyten verplaatsen zich van het beenmerg naar de thymus om zich daar verder te ontwikkelen. Deze worden **T-lymfocyten** of **T-cellen** genoemd. Andere lymfocyten blijven achter in het beenmerg om te rijpen. Deze worden **B-lymfocyten** of **B-cellen** genoemd.
Na de vorming verspreiden T- en B-lymfocyten zich over het lichaam. Een groot deel van de T- en B-lymfocyten komt terecht in de lymfeknopen en de milt via het lymfevatenstelsel (zie afbeelding 13). In afbeelding 14 is een lymfeknoop schematisch getekend.

▼ **Afb. 13** Het lymfevatenstelsel van de mens (schematisch).



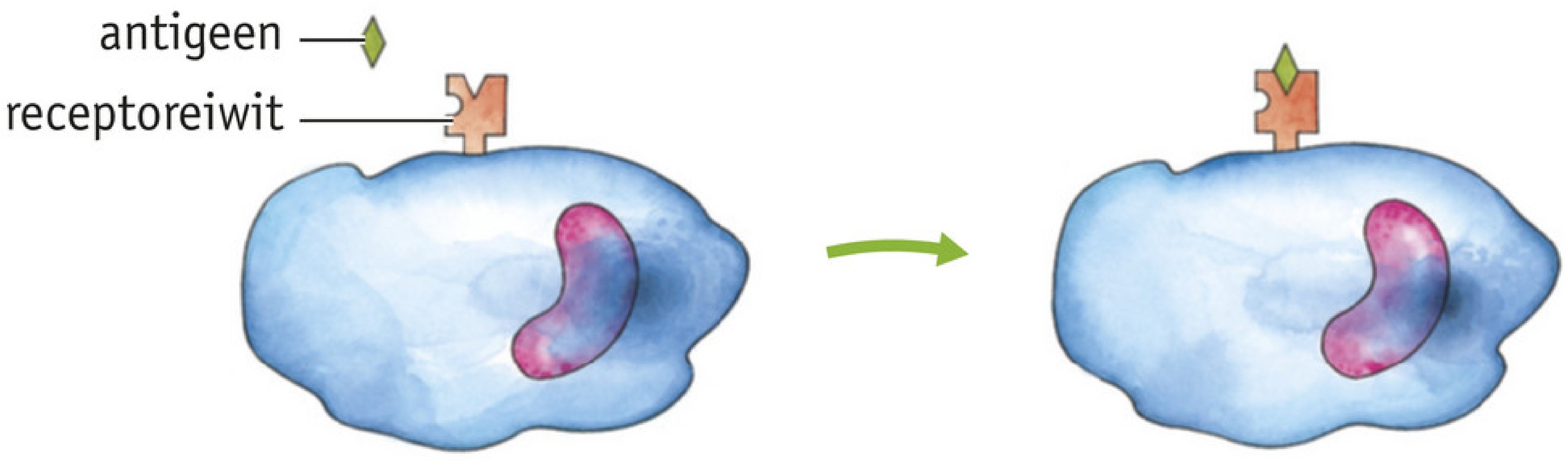
▼ **Afb. 14** Lymfeknoop (doorsnede, schematisch).



ACTIVATIE VAN LYMFOCYTEN

Nadat een macrofaag een ziekteverwekker heeft gefagocyteerd, wordt het antigeen van de ziekteverwekker aan de buitenkant van de cel geplaatst en verandert de macrofaag in een **antigeen-presenterende cel** (**APC**, zie afbeelding 15 en 16). Ook andere witte bloedcellen dan macrofagen kunnen zich ontwikkelen tot antigeen-presenterende cellen. Op het moment dat de macrofaag of andere witte bloedcel verandert in een APC, wordt hij onderdeel van de verworven afweer.

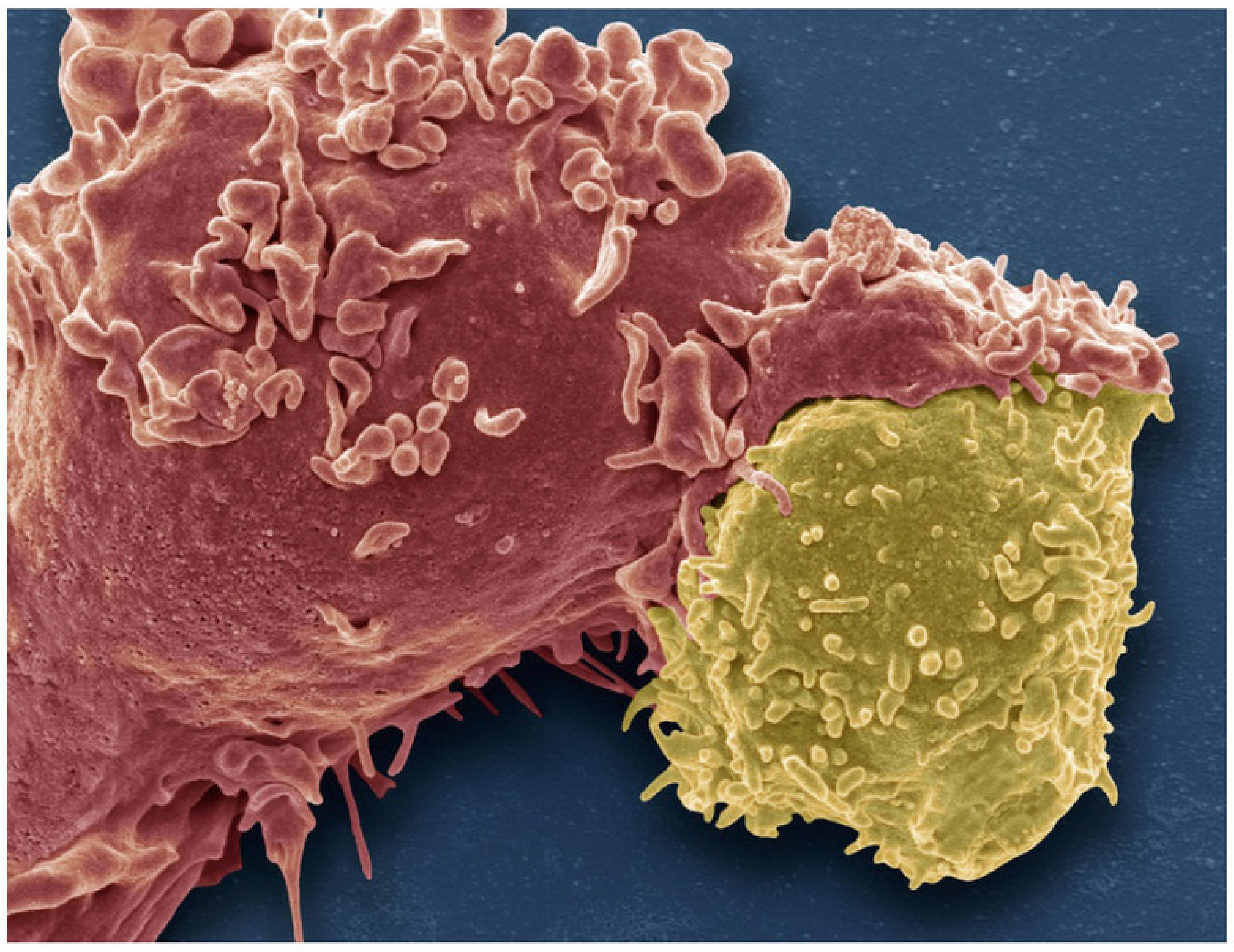
▶ **Afb. 15** Een macrofaag wordt een antigeen-presenterende cel (schematisch).



Via de lymfe komen APC's in de lymfoïde organen terecht. Hier worden de antigenen van de APC's aangeboden aan T- en B-lymfocyten. Het kost APC's tijd om tussen de miljoenen verschillende T- en B-lymfocyten de cel met de juiste receptor te vinden die specifiek past op het antigeen van de ziekteverwekker. Tijdens deze zoektocht van de APC blijf je ziek.

Op het moment dat de APC de juiste T- of B-lymfocyt heeft gevonden, wordt deze lymfocyt geactiveerd (zie afbeelding 16). Bij een T-lymfocyt leidt die activatie tot een groot aantal identieke celdelingen. Daardoor wordt er een leger van miljoenen gespecialiseerde T-cellen gevormd die geïnfecteerde cellen opruimen.

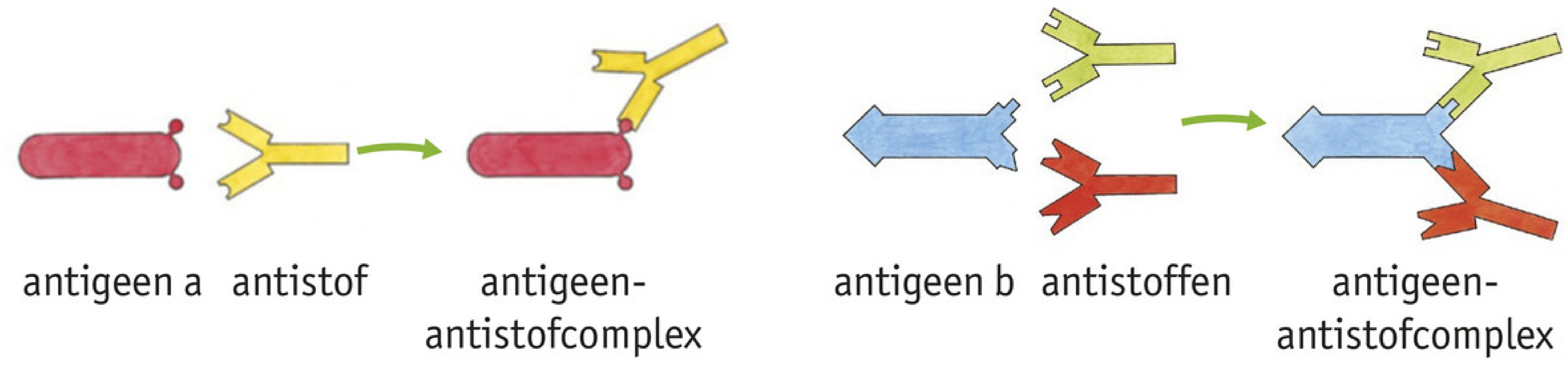
▶ **Afb. 16** Antigeen-presenterende cel (roze) activeert een T-cel (geelgroen).



VORMING VAN ANTISTOFFEN

Ook een B-cel gaat zich vermenigvuldigen als hij wordt geactiveerd. Geactiveerde B-cellen maken antistoffen tegen de ziekteverwekker. **Antistoffen** zijn eiwitten die zich binden aan de antigenen van de ziekteverwekker, die daardoor onschadelijk wordt gemaakt. Een antigeenmolecuul en een antistofmolecuul passen op elkaar als een sleutel op een slot (zie afbeelding 17). Hierdoor kunnen ze een **antigeen-antistofcomplex** vormen. Op sommige antigenen past één antistof, bij andere antigenen zijn twee antistoffen nodig om de ziekteverwekker onschadelijk te maken. Een B-cel kan maar één type antistof vormen. Voor de bestrijding van sommige ziekteverwekkers zijn dus verschillende B-cellen nodig.

▶ **Afb. 17** Vorming van een antigeen-antistofcomplex (schematisch).

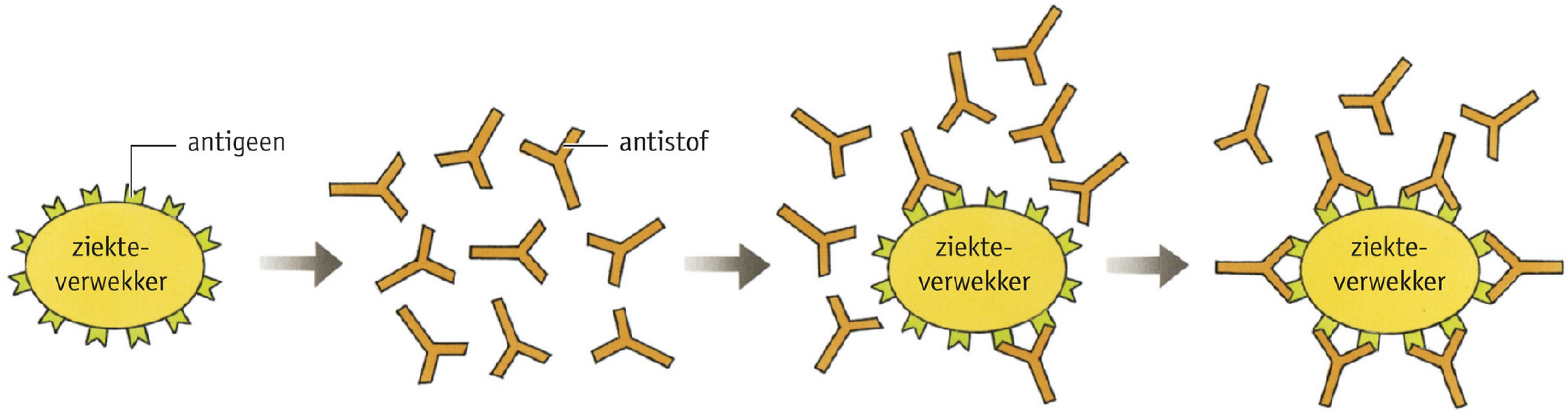


1 Tegen antigeen a wordt één type antistof gevormd.

2 Tegen antigeen b worden twee verschillende antistoffen gevormd.

Door de complexvorming wordt het antigeen of de ziekteverwekker waarop het antigeen zich bevindt, onschadelijk gemaakt. Dit kan op verschillende manieren. Door de complexvorming kan een antigeen als het ware worden afgedekt, waardoor de ziekteverwekker geen cel meer kan infecteren (zie afbeelding 18). Ook kan door de complexvorming het celmembraan van een lichaamsvreemde cel worden aangetast, waardoor de cel uiteenvalt. Vaak bevordert complexvorming de fagocytose van een ziekteverwekker (of de restanten ervan) door macrofagen.

▼ **Afb. 18** Werking van een antistof.



1 ziekteverwekker met antigeen

2 antistof

3 Antistofmoleculen hechten zich aan de antigenen.

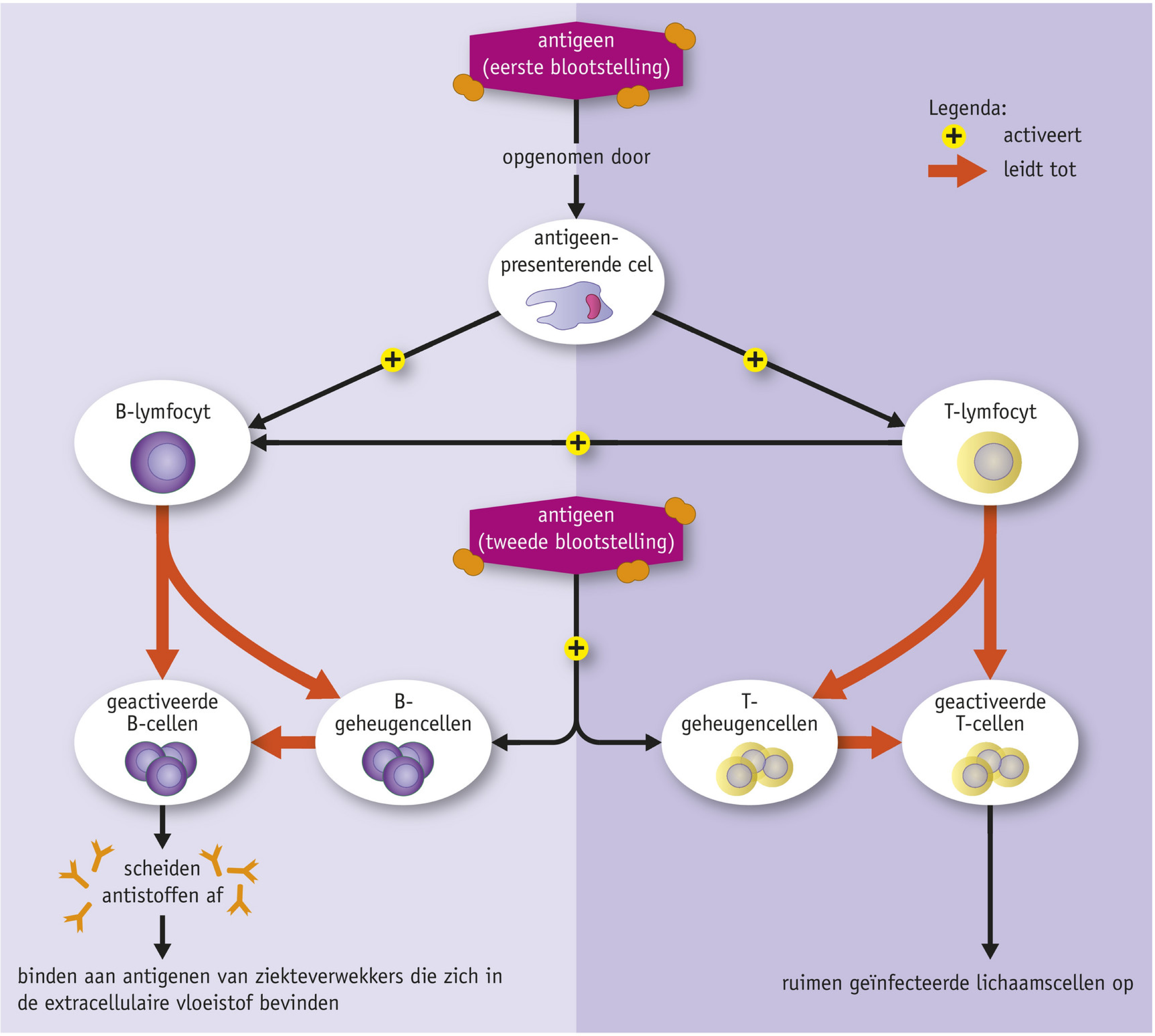
4 De ziekteverwekker is bedekt met antistof en daardoor onschadelijk geworden.

Geactiveerde B-cellen kunnen heel snel grote hoeveelheden antistoffen produceren. De antistoffen komen in alle lichaamsvochten terecht (bloed, lymfe, weefselvloeistof, traanvocht, speeksel, vaginaal vocht, moedermelk, enzovoort). Nadat fagocyten de eerste grove stofzuigklus hebben uitgevoerd, pakken T- en B-cellen de resterende ziekteverwekkers gericht aan in alle hoekjes en gaatjes van het lichaam. T- en B-lymfocyten zorgen ervoor dat ziekteverwekkers zich nergens meer kunnen verstoppen. Niet in lichaamscellen, maar ook niet in lichaamsvocht.

GEHEUGENCELLEN

Niet alle geactiveerde T- en B-cellen gaan de ziekteverwekker direct bestrijden. Sommige geactiveerde lymfocyten worden geheugencellen. **T-geheugencellen** zijn langlevende cellen die bij een volgende infectie het antigeen direct herkennen, waardoor ze zich snel kunnen ontwikkelen tot geactiveerde T-cellen en er een snellere afweerreactie volgt. Ook **B-geheugencellen** herkennen bij een nieuwe infectie een antigeen direct, waardoor ze zich snel kunnen ontwikkelen tot geactiveerde B-cellen. Daardoor zorgen geheugencellen voor een snellere reactie, zodat je bij een nieuwe infectie meestal niet meer ziek wordt. In afbeelding 19 is de werking van het afweersysteem samengevat.

▼ **Afb. 19** De werking van het afweersysteem.



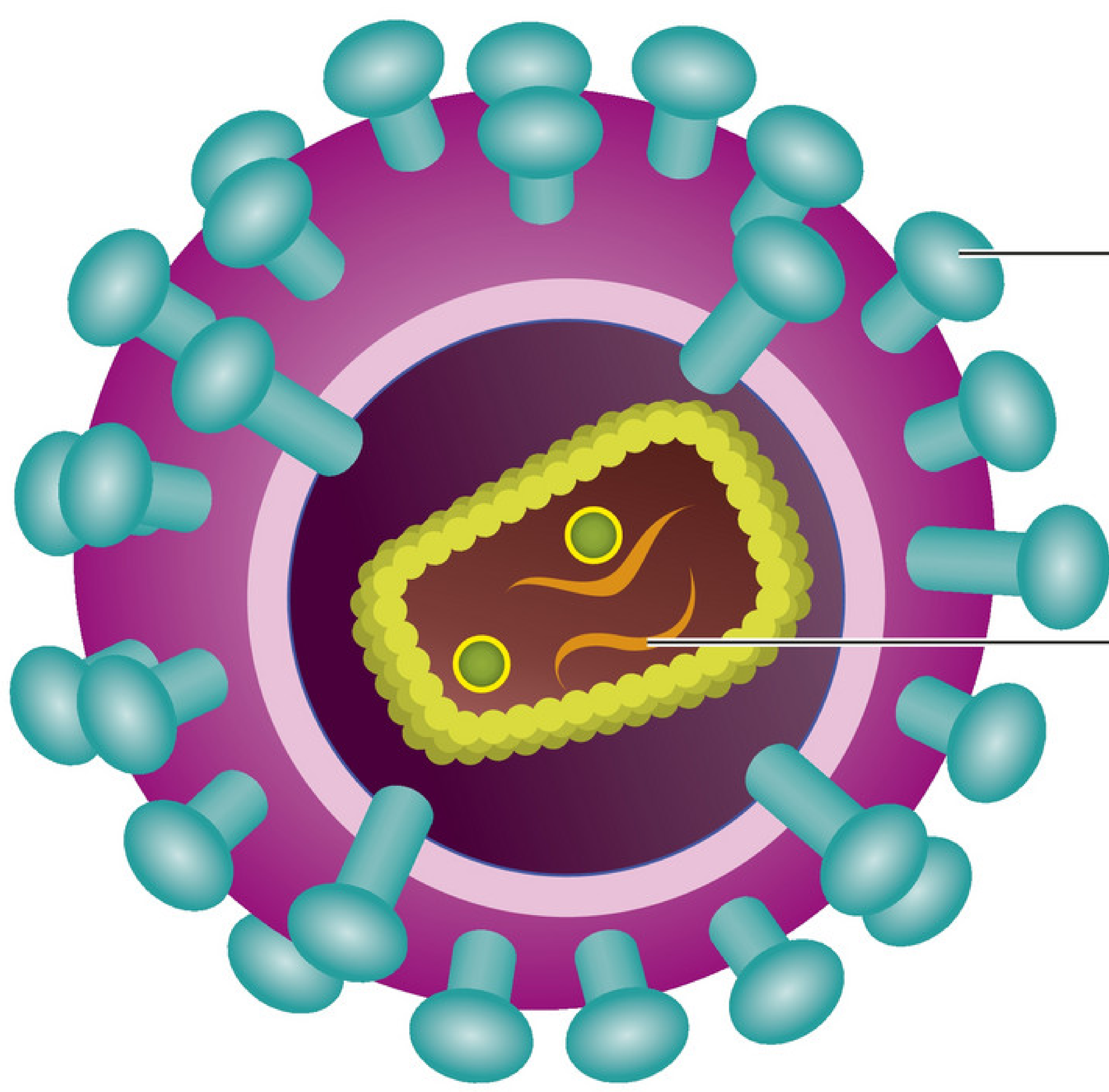
opdrachten

8 Lymfocyten herkennen ziekteverwekkers aan antigenen.
- **a** Waar zijn antigenen voornamelijk uit opgebouwd?
- **b** Op welke manier zijn lymfocyten in staat lichaamsvreemde antigenen te herkennen?
- **c** Een groot deel van de miljoenen verschillende lymfocyten wordt niet gebruikt.
 Waarvoor maakt het lichaam toch zo'n groot aantal verschillende lymfocyten?

9
- **a** Wat is een antigeen-presenterende cel?
- **b** Bij de meeste infecties treedt bij een tweede infectie een snellere afweerreactie op.
 Leg uit waardoor dit komt.
- **c** Als iemand besmet raakt met een voor die persoon nog onbekende bacterie, zijn niet meteen antistoffen in het bloed beschikbaar.
 Leg uit hoe dat komt.
- **d** Geactiveerde B-cellen bevatten veel ribosomen.
 Leg uit waarmee dat samenhangt.

10 Waardoor zijn antistoffen niet effectief tegen het aidsvirus (zie afbeelding 20)?

▶ **Afb. 20** Aidsvirus.

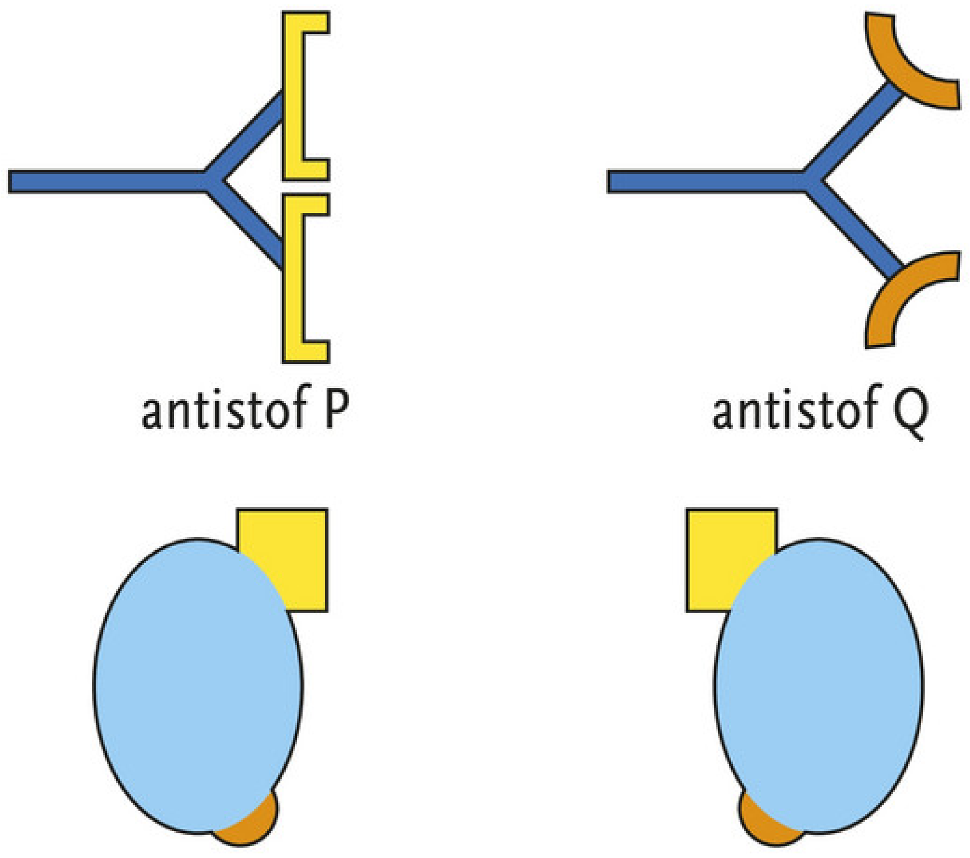


11 Lees het onderzoek in afbeelding 21.
- **a** Het kan maanden duren voordat het afweersysteem het virus heeft herkend en opgeruimd, waarna de bultjes verdwijnen.
 Tussen welke delen van het virus en welke delen van het bloedserum vindt dan een reactie plaats?
- **b** Formuleer een onderzoeksvraag op grond van het onderzoek.
- **c** Formuleer een hypothese op grond van het onderzoek.
- **d** Waardoor zou scheren van het schaamhaar de kans op een infectie met het virus groter maken?
- **e** Het experiment is niet goed opgezet. Zo ontbreekt er een controlegroep.
 Beschrijf hoe jij een goed onderzoek zou opzetten.

▼ **Afb. 21**

ONDERZOEK	**SCHAAMHAAR SCHEREN LEIDT TOT MEER WATERWRATTEN**
Inleiding	Waterwratten komen vooral bij peuters voor, bijvoorbeeld in het gezicht (zie de foto). Ze worden veroorzaakt door een virus dat zich in huidcellen nestelt. Het kan maanden duren voordat het afweersysteem het virus heeft herkend en opgeruimd, waarna de bultjes verdwijnen. Er is een toename van het aantal gevallen van waterwratten bij volwassenen waargenomen, bijvoorbeeld in de schaamstreek. Daarnaast is er een groeiend aantal mensen dat hun schaamhaar scheert.  Waterwratten rondom het oog.
Onderzoeksvraag	
Hypothese	
Experiment	Bij 30 patiënten (26 mannen en 4 vrouwen) met het virus wordt onderzocht of zij hun schaamhaar verwijderen.
Resultaat	93% van de patiënten had hun schaamhaar verwijderd.
Conclusie	Mensen die hun schaamhaar scheren, lopen een groter risico om waterwratten te krijgen.

▼ **Afb. 22** Antistoffen en een antigeen.



12 Aan een antigeenmolecuul kunnen zich tegelijkertijd verschillende antistofmoleculen binden. In afbeelding 22 zijn schematisch twee verschillende antistofmoleculen (P en Q) weergegeven en twee antigeenmoleculen (R) met elk twee bindingsplaatsen voor deze antistofmoleculen.

a In sommige gevallen kunnen antigenen onschadelijk worden gemaakt door twee antigeenmoleculen aan elkaar te binden.
Teken de situatie waarin de antistofmoleculen P en Q twee antigeenmoleculen R aan elkaar binden.

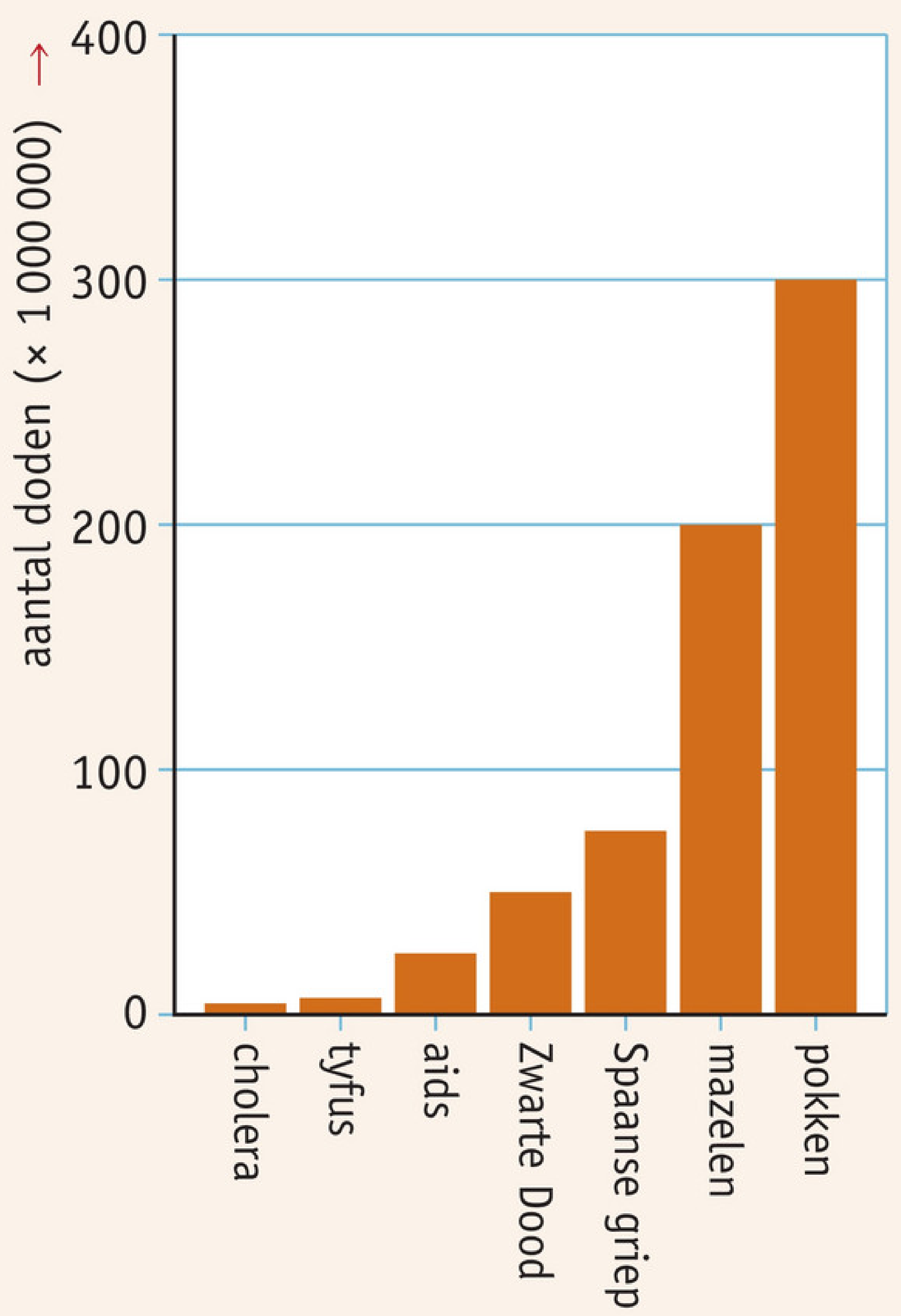
b Elke binding tussen een antistofmolecuul en een antigeenmolecuul kan weer worden losgemaakt.
Teken de vier mogelijke situaties waarbij een van de bindingen van opdracht a is verbroken.

CONTEXT Leefwereld

Ziekteverwekkers bepalen wereldgeschiedenis

Ze zijn zo klein dat je ze met het blote oog niet kunt zien. Toch hebben ze een grote invloed gehad op de geschiedenis van de mens. Bacteriën, schimmels en virussen hebben emigratiegolven gestimuleerd en oorlogen beslist.
Het is moeilijk voor te stellen wat ziekteverwekkers vroeger konden veroorzaken. Raken we nu al in paniek als er ergens in de wereld enkele mensen zijn overleden aan een nieuw virus, vroeger doodden ziekteverwekkers miljoenen mensen (zie afbeelding 23). Door de Zwarte Dood (de builenpest) bijvoorbeeld stierf tussen 1346 en 1352 een derde van de Europese bevolking. Van 1845 tot 1849 vernietigde de schimmel *Phytophthora infestans* de aardappeloogst in Ierland, waardoor één miljoen Ieren stierven van de honger en nog eens één miljoen Ieren emigreerden, vooral naar de Verenigde Staten. De schimmel verspreidt zich snel in koude natte zomers.
Ook de verovering van Noord- en Zuid-Amerika is zeer waarschijnlijk toe te schrijven aan ziekteverwekkers. Zo heeft waarschijnlijk een geïnfecteerde slaaf pokken verspreid onder de oorspronkelijke bevolking van Mexico (de Azteken), waardoor deze in slechts honderd jaar kromp van twintig miljoen naar twee miljoen mensen. In Noord-Amerika gebruikten de Britten de pokken bewust als biologisch wapen tegen de Indianen, door ze met pokken besmette dekens te geven.
Pas in 1940 had de mens voor het eerst in de geschiedenis een sterk wapen tegen bacteriële ziekten. Penicilline wordt sindsdien gebruikt als antibioticum.

Afb. 23 Totaal aantal slachtoffers van infectieziekten.



opdracht

13 Duizenden jaren geleden veranderde de mens van jager en verzamelaar in landbouwer en veeteler, waardoor uiteindelijk grote steden ontstonden zonder riolen en wc's.

- **a** Leg uit dat verstedelijking de kans op epidemieën vergroot.
- **b** Verklaar waardoor een groot deel van de aardappeloogst in Ierland door één schimmelsoort kon worden vernietigd.
- **c** In korte tijd overleden veel Azteken aan ziekten die Europeanen meebrachten.
 Hoe kwam het dat de Spanjaarden minder last hadden van de ziekteverwekkers?
- **d** Iedereen die nu leeft, stamt af van mensen die verschillende pest-, cholera-, pokken-, mazelen-, griep-, tbc- en polio-epidemieën hebben overleefd.
 Hoe hebben ziekteverwekkers onze gezondheid beïnvloed?

Leerdoel
– Je kunt beschrijven op welke manieren immuniteit kan ontstaan.

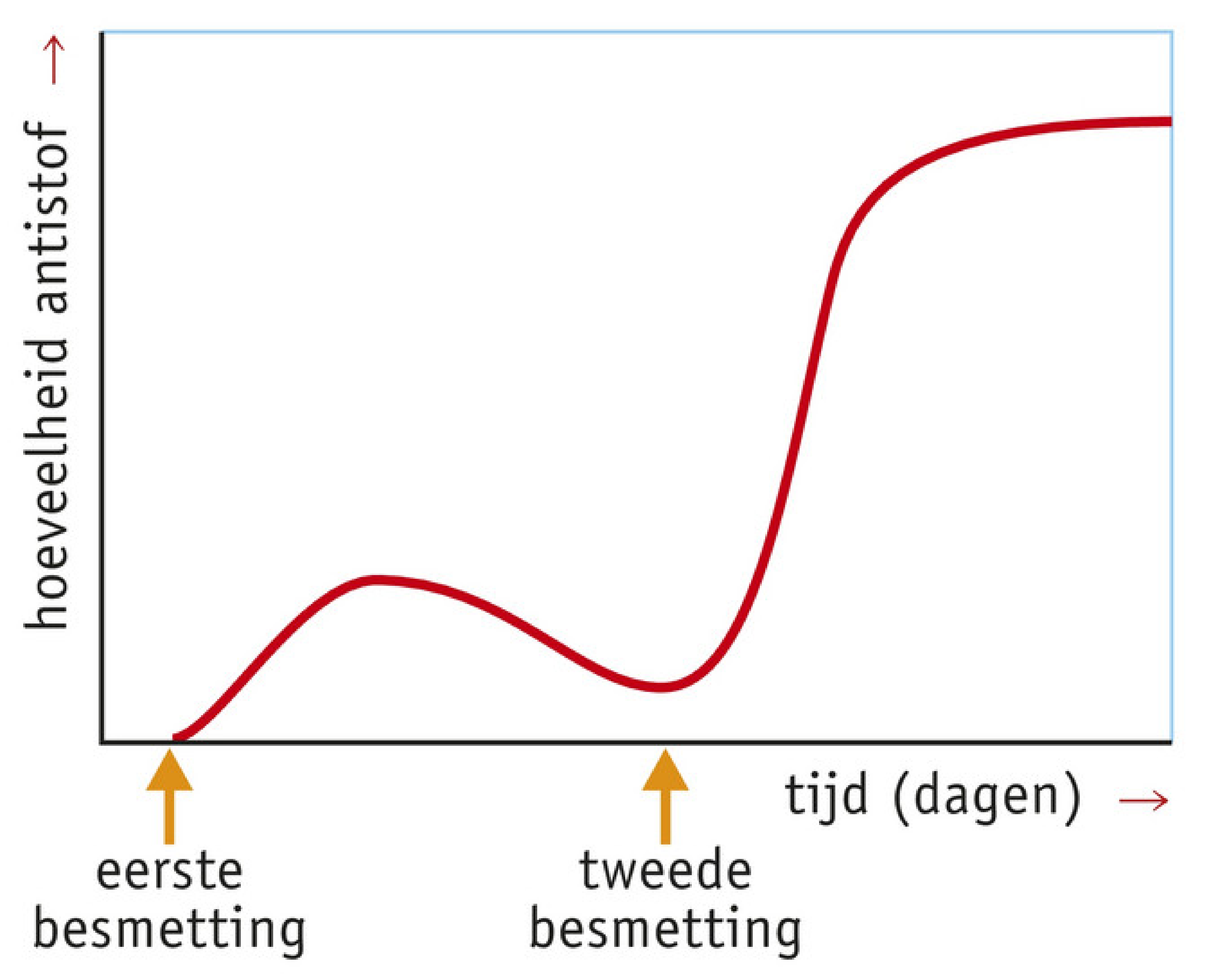
3 Immuniteit

De Engelse arts Jenner besloot eind achttiende eeuw James, de zoon van zijn tuinman, als 'proefkonijn' te besmetten met de koepokken (*vaccinia*) en hem daarna bloot te stellen aan de levensgevaarlijke mensenpokken. Het jongetje ging gelukkig niet dood en vaccinatie redde daarna miljoenen levens.

PRIMAIRE EN SECUNDAIRE REACTIE

Bij een eerste besmetting met een antigeen duurt het enkele dagen voordat er voldoende antistof is gevormd (zie afbeelding 24). Gedurende deze periode kun je ziek zijn. De tijd die verstrijkt tussen het binnendringen van de ziekteverwekker en het optreden van de eerste ziekteverschijnselen wordt **incubatietijd** genoemd.
Als je voldoende antistof hebt gevormd, verdwijnen de symptomen. Na zo'n twee weken neemt de hoeveelheid antistof meestal niet meer toe. We noemen deze antistofvorming de **primaire reactie**. Hierna wordt de antistof geleidelijk afgebroken.
Bij een tweede besmetting met hetzelfde antigeen zorgen de geheugencellen ervoor dat vrijwel onmiddellijk antistof wordt gevormd (de **secundaire reactie**). De hoeveelheid antistof wordt veel groter en neemt veel langzamer af dan bij de primaire reactie. Na een secundaire reactie blijft de antistof veel langer in het bloed aanwezig. Door de snelle secundaire reactie heb je bij een tweede besmetting meestal vrijwel geen ziekteverschijnselen. Je bent door de primaire reactie **immuun** geworden.

▶ **Afb. 24** Primaire en secundaire reactie bij antistofvorming.



NATUURLIJKE EN KUNSTMATIGE IMMUNITEIT

Immuniteit die wordt verkregen als reactie op het binnendringen van een ziekteverwekker, noem je **natuurlijke immuniteit**. Bij veel kinderziekten is sprake van natuurlijke immuniteit, bijvoorbeeld na waterpokken (zie afbeelding 25). De opgebouwde immuniteit bij kinderziekten is meestal levenslang. **Kunstmatige immuniteit** wordt opgewekt door opzettelijke blootstelling aan een antigeen. Dat heet **immunisatie**. Kunstmatige immuniteit geeft een minder langdurige bescherming dan natuurlijke immuniteit, doordat bij immunisatie niet de echte, volledige ziekteverwekker wordt gebruikt.
Een voorbeeld van immunisatie is **vaccinatie**, de toediening van een stof die het afweersysteem activeert en daardoor immuniteit opwekt (het **vaccin**). Meestal gebeurt vaccinatie door middel van inenting (zie afbeelding 26). Het vaccin bestaat uit gedode of verzwakte ziekteverwekkers of delen van ziekteverwekkers. Soms

▼ **Afb. 25** Kind met waterpokken.



▼ **Afb. 26** Vaccinatie door inenting.



worden alleen gezuiverde antigenen van ziekteverwekkers toegediend. Als reactie op het vaccin gaat het afweersysteem antistof maken tegen het antigeen van de ziekteverwekker. Geheugencellen zorgen voor immuniteit bij een latere besmetting.

In ons land worden vrijwel alle kinderen binnen het Rijksvaccinatieprogramma ingeënt tegen infectieziekten (zie afbeelding 27). Het vaccinatieprogramma is erg succesvol tegen ziekten die vroeger leidden tot de dood of tot mindervaliditeit, zoals polio en mazelen.
Het vaccineren van kinderen brengt weinig risico's met zich mee: minder dan één op de miljoen reageert met een allergische reactie op vaccinatie tegen mazelen. De ziekte zelf kan daarentegen erg gevaarlijk zijn: één op de duizend patiënten krijgt acute hersenontsteking met mogelijk blijvende hersenschade. Toch zijn er ouders die hun kinderen niet of niet volledig laten inenten, meestal uit religieuze overwegingen of door gebrek aan kennis over vaccineren. Een hoge vaccinatiegraad (het percentage kinderen dat is ingeënt) is bij de meeste ziekten nodig om de bevolking als geheel te beschermen tegen uitbraken.

▸▸ PRACTICUMOPDRACHT 1

▼ **Afb. 27** Het Rijksvaccinatieprogramma.

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport

Vaccinatieschema Rijksvaccinatieprogramma

Fase 1	Inenting 1	Inenting 2
6-9 weken	DKTP Hib HepB	Pneu
3 maanden	DKTP Hib HepB	
4 maanden	DKTP Hib HepB	Pneu
11 maanden	DKTP Hib HepB	Pneu
14 maanden	BMR	MenC

Fase 2	Inenting 1	Inenting 2
4 jaar	DKTP	

Fase 3	Inenting 1	Inenting 2
9 jaar	DTP	BMR

Fase 4	Inenting 1	Inenting 2
12 jaar	HPV*	HPV * (6 maanden later)

Betekenis afkortingen

D	Difterie
K	Kinkhoest
T	Tetanus
P	Polio
Hib	Haemophilus influenzae type b
HepB	Hepatitis B
Pneu	Pneumokokken
B	Bof
M	Mazelen
R	Rodehond
MenC	Meningokokken C
HPV	Humaan Papillomavirus
*	Alleen voor meisjes

opdrachten

14 a Wat is de incubatietijd?
b Wanneer is iemand immuun voor een bepaalde ziekte?
c Waardoor verloopt de secundaire reactie bij de antistofvorming sneller en heviger dan de primaire reactie?

15 Ziekteverwekkers van typische kinderziekten komen vaker voor dan andere ziekteverwekkers.
Leg uit hoe het komt dat kinderziekten bij volwassenen toch vrijwel niet voorkomen.

16 In 2013 en 2014 vond in Nederland een mazelenepidemie plaats. Mazelen is geen onschuldige kinderziekte. Het mazelenvirus verzwakt bijvoorbeeld het afweersysteem tot wel twee jaar. Hierbij verdwijnen cellen die ziekteverwekkers herkennen waarmee het lichaam in het verleden in contact is geweest. Het gevolg hiervan is dat besmette mensen vatbaarder worden voor infecties met andere ziekteverwekkers, net als bij aids. Jaarlijks sterven wereldwijd meer dan honderdduizend mensen (vooral kinderen) aan de ziekte, ondanks de beschikbaarheid van een vaccin.
a Hoe heten de cellen die eerdere (voormalige) ziekteverwekkers kunnen herkennen?
b Bij mazelen verdwijnen cellen die eerder bestreden ziekteverwekkers herkennen.
Wat zal hiervan het gevolg zijn?
c Welke bestanddelen zullen in het vaccin tegen mazelen aanwezig zijn?
d Leg uit dat na het doormaken van mazelen en na vaccinatie dezelfde immuniteit voor mazelen ontstaat.
e Door vaccinatie tegen mazelen ontstaat immuniteit.
Geef nog een reden waarom het belangrijk is dat mazelen is opgenomen in het vaccinatieprogramma.

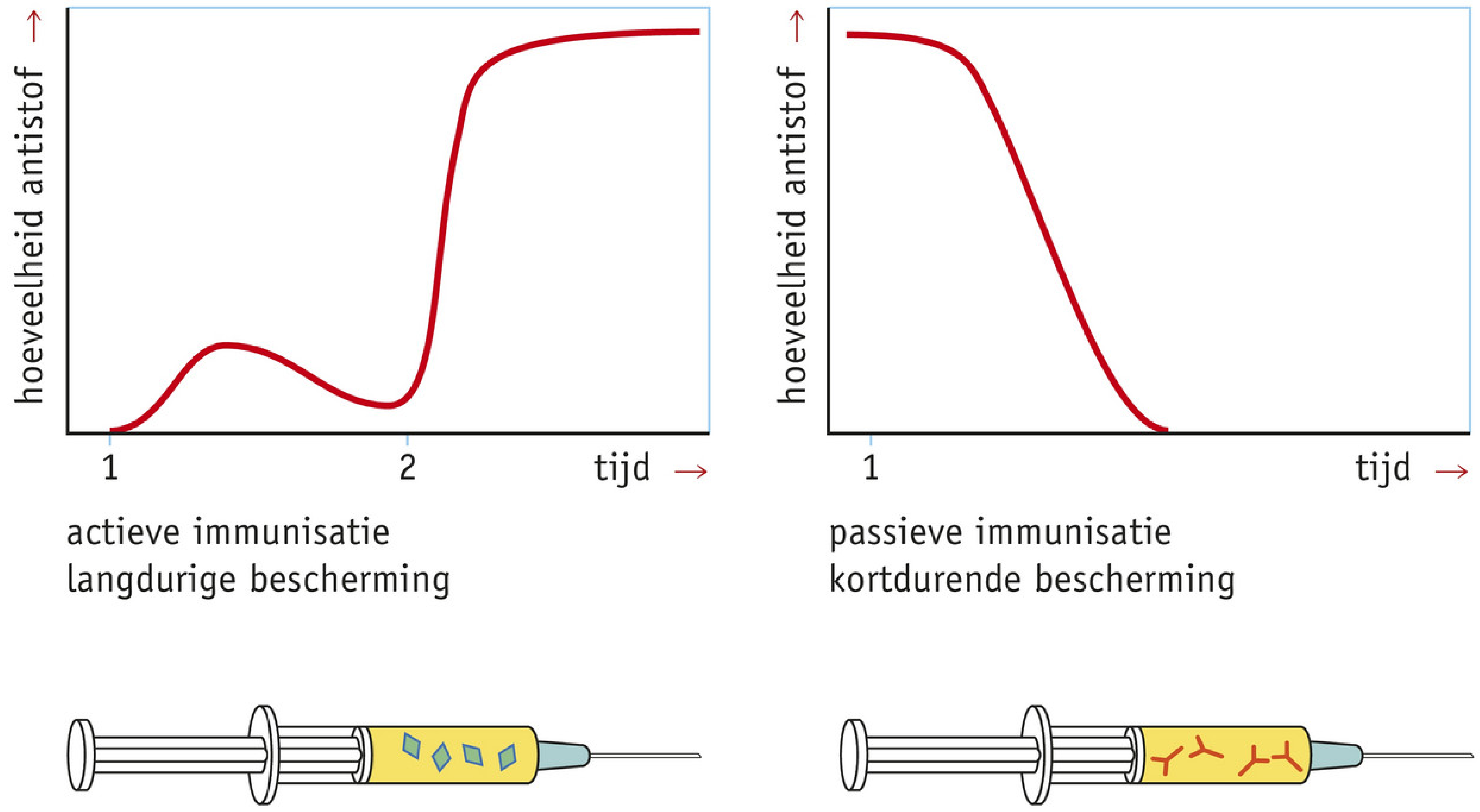
17 Verkoudheid en griep worden net als de mazelen veroorzaakt door een virus. Waardoor kan tegen mazelen wel, maar tegen verkoudheid en griep geen blijvende immuniteit ontstaan?

Actieve en passieve immunisatie

Wanneer iemand door vaccinatie immuun wordt voor een ziekte, noem je dat **actieve immunisatie**. Het afweersysteem reageert actief op de ziekteverwekker en zorgt onder andere voor de aanmaak van geheugencellen die een langdurige bescherming geven.
In sommige (nood)gevallen wordt **passieve immunisatie** toegepast. Bij passieve immunisatie worden antistoffen ingespoten, bijvoorbeeld wanneer iemand is gebeten door een gifslang of een giftige spin. Het lichaam maakt hierbij niet zelf antistoffen en geheugencellen aan. Daarom geeft passieve immunisatie slechts kortdurende bescherming.
Antistoffen worden toegediend in de vorm van antiserum: bloedplasma zonder stollingseiwitten van een mens of dier dat eerst immuun is gemaakt tegen bepaalde vergiften of ziekteverwekkers. Het bevat dus veel specifieke antistoffen. Een nadeel van het toedienen van een antiserum is dat in het bloed van het dier vele verschillende antistoffen voorkomen. Dit kan soms tot een ernstige allergische reactie leiden, waarbij het afweersysteem van de mens reageert tegen de dierlijke antistoffen.

Afbeelding 28 geeft een overzicht van actieve en passieve immunisatie.

▶ **Afb. 28** Actieve en passieve immunisatie.



1 Injectie met antigenen of verzwakte ziekteverwekker met antigenen. De antigenen activeren de productie van specifieke antistoffen tegen deze antigenen.

2 Bij infectie met een niet-verzwakte ziekteverwekker met dezelfde antigenen zorgen geheugencellen voor een snelle vorming van de specifieke antistoffen.

1 Injectie met antistoffen.

opdrachten

18 Immunisatie is het opwekken van immuniteit door blootstelling aan een antigeen.

a Wat is het verschil tussen actieve en passieve immunisatie?

b Worden bij actieve immunisatie geheugencellen gevormd? En bij passieve immunisatie?

19 Hoe komt het dat een kind dat een DKTP-Hib-HepB-prik krijgt vaak een dag een beetje ziek is?

20 Gebruik bij deze opdracht je *Binas* en internet.

a Het afweersysteem van een foetus is nog niet actief. Toch komen in het bloed van een foetus antistoffen voor.
Op welke manier kunnen deze antistoffen daar terecht zijn gekomen?

b Na de geboorte en gedurende de borstvoeding komen in het bloed van de zuigeling ook andere antistoffen voor.
Op welke manier komen deze antistoffen in de baby?

c Bij zuigelingen kun je spreken van passieve natuurlijke immuniteit. Leg dat uit.

d Zoek op internet enkele gevolgen van een minder goed ontwikkeld afweersysteem bij baby's.

21 Welke conclusie kun je trekken over het antigeen bij koepokken en bij (mensen)pokken?

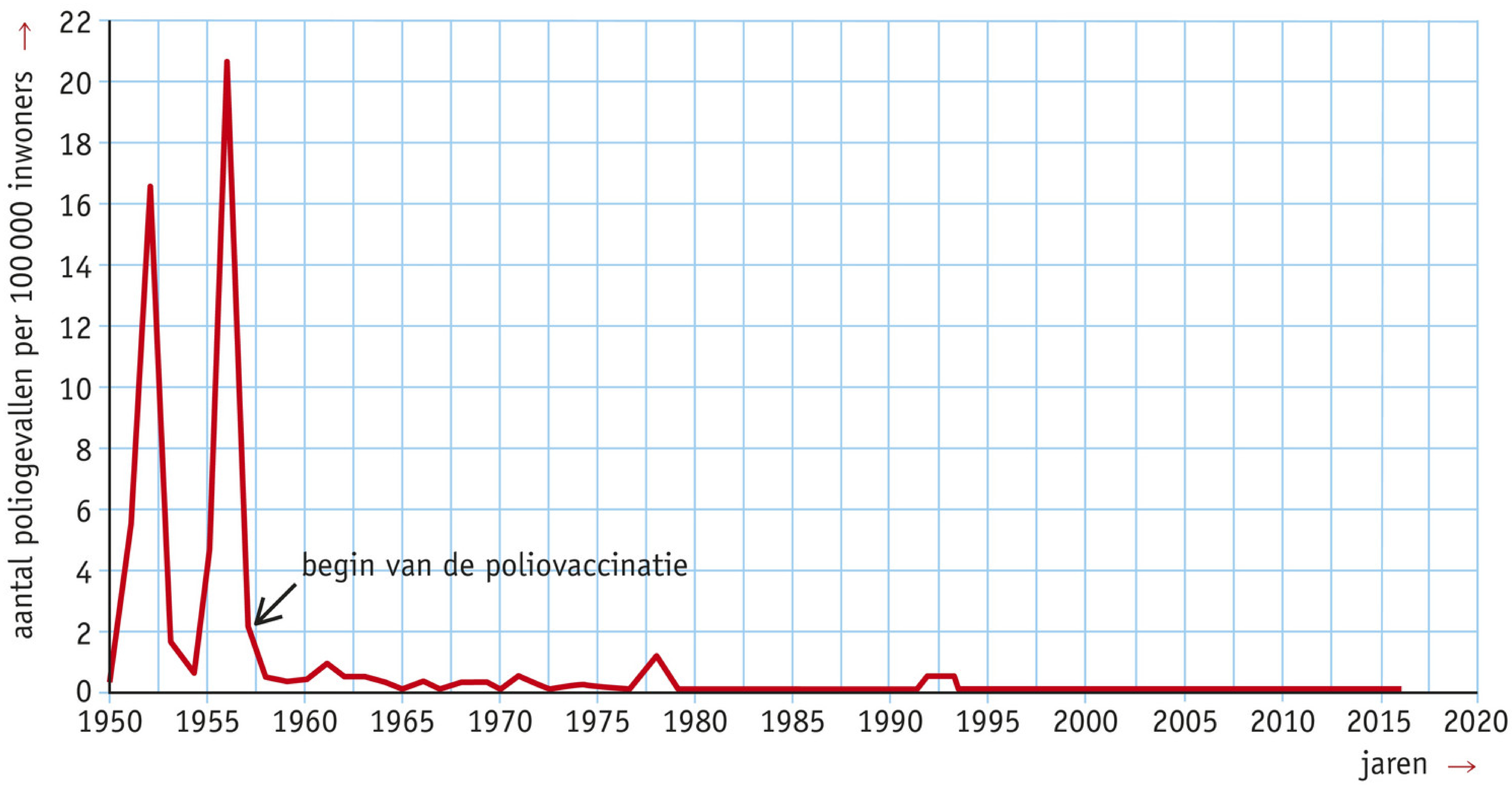
22 Tetanus is een infectieziekte die gepaard gaat met spierkrampen. Iemand die is besmet met tetanusbacteriën kan passief worden geïmmuniseerd door een injectie met antiserum tegen deze tetanusbacteriën. Vroeger werd dit serum verkregen door bloed af te nemen bij een dier (bijvoorbeeld een paard) dat bij herhaling met kleine hoeveelheden tetanusbacteriën was ingespoten. Als een patiënt nog meer injecties nodig had, kreeg hij niet opnieuw paardenserum. De ervaring had geleerd dat er dan heftige reacties konden optreden. De patiënt kreeg dan serum van een rund of een schaap. Tegenwoordig worden menselijke antistoffen toegediend.

- **a** De immuniteit die ontstaat door het toedienen van een serum is slechts van korte duur. Leg uit waardoor dat komt.
- **b** Wat is de verklaring voor de heftige reactie bij het opnieuw toedienen van paardenserum?

23 Polio wordt veroorzaakt door een virus dat zenuwcellen aantast. Sinds begin jaren vijftig van de vorige eeuw wordt in Nederland op grote schaal gevaccineerd. Sindsdien is het aantal poliogevallen sterk afgenomen, ook in gebieden waar niet alle kinderen worden gevaccineerd (zie afbeelding 29).

- **a** Noem een reden waarom ouders hun kind(eren) niet laten inenten tegen polio of mazelen.
- **b** Hoewel het poliovirus voortdurend in Nederland aanwezig is en steeds een percentage van de bevolking niet is gevaccineerd, traden in 2000 geen gevallen van polio op. Leg uit waardoor dit komt.

▼ **Afb. 29** Polio in Nederland.



24 Meisjes kunnen vanaf 12 jaar worden gevaccineerd tegen baarmoederhalskanker. Baarmoederhalskanker wordt meestal veroorzaakt door het humaan papillomavirus (HPV), waarvan er meer dan honderd typen zijn. Slechts enkele ervan veroorzaken kanker. In 2009 werd HPV-vaccinatie opgenomen in het Rijksvaccinatieprogramma.
Vrouwen die niet zijn ingeënt, worden regelmatig gecontroleerd op baarmoederhalskanker door uitstrijkjes te maken. Bij een uitstrijkje worden met een spatel of borsteltje cellen van het slijmvlies in de vagina afgenomen en onderzocht op een voorstadium van baarmoederhalskanker. Dit is een simpele en goedkope manier. Een uitstrijkje kost € 20 en een vaccinatie kost ongeveer € 400. Nadeel van het uitstrijkje is dat niet alle vrouwen zich laten controleren.

Hierna staat een aantal uitspraken over vaccinatie tegen baarmoederhalskanker.

1 Sophie wil zich niet laten inenten, omdat zij heeft gelezen dat er één meisje was dat na de vaccinatie een eileiderontsteking heeft gekregen.
2 Asha laat zich niet vaccineren, omdat de vaccinatie haar niet beschermt tegen alle vormen van baarmoederhalskanker.
3 Esra vindt dat HPV-vaccinatie verplicht moet worden, omdat het vele doden per jaar voorkomt.
4 Julia laat zich niet vaccineren, omdat de meeste varianten van HPV onschadelijk zijn.
5 Judith zegt dat zij door HPV-vaccinatie haar hele leven niet meer bang hoeft te zijn dat zij baarmoederhalskanker krijgt.
6 Lotte zegt dat uitstrijkjes net zo effectief zijn in het voorkomen van baarmoederhalskanker als de HPV-vaccinatie.

a Noteer bij elke uitspraak een argument voor of tegen de stelling van het meisje. Informatie over de voor- en nadelen van HPV-vaccinatie kun je eventueel opzoeken op internet.

b Bespreek de resultaten in een groepje of met de klas.

CONTEXT Beroep

Researchmedewerker RIVM

▼ **Afb. 30** Pieter van Gageldonk in het RIVM-laboratorium in Bilthoven.



Pieter van Gageldonk is senior onderzoeksmedewerker bij het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). Pieter is na zijn hbo-opleiding bij het Centrum Immunologie van Infectieziekten en Vaccins van het RIVM gaan werken en doet daar onderzoek naar de kwantiteit en kwaliteit van de immunologische bescherming tegen infectieziekten (zie afbeelding 30).

‘Het gaat hierbij vooral om ziekten waartegen wordt gevaccineerd binnen het Rijksvaccinatieprogramma. We richten ons op immunologische reacties. Dit kan zijn kort na vaccinatie of op lange termijn. Om immunologische reacties te kunnen meten, moeten we in het laboratorium goede analysemethoden ontwikkelen. Het onderzoek wordt voornamelijk gericht op populatieniveau. De vraag daarbij is dus: hoe goed is de Nederlandse bevolking beschermd tegen infectieziekten? Daarnaast is er een toenemende aandacht voor specifieke groepen die mogelijk niet optimaal reageren op vaccinaties. Denk aan mensen met een verzwakt immuunsysteem, te vroeg geboren baby’s en ouderen.

De resultaten van het onderzoek worden gebruikt om de overheid (de minister) te adviseren over aanpassingen van vaccinatieschema’s en vaccincomponenten. Dat zijn bijvoorbeeld bewerkte ziekteverwekkers zoals bacteriën en virussen, hulpstoffen en additieven, bijvoorbeeld om het vaccin goed te kunnen bewaren en om het lichaam aan te zetten tot nog meer antistofvorming.’

opdracht

25 Ga naar de website van het RIVM. Zoek het Centrum Immunologie van Infectieziekten en Vaccins (Centrum IIV).

a Wat is het doel van het Centrum IIV?

b Welke werkzaamheden worden bij het Centrum IIV verricht om dit doel te bereiken?

c Zoek enkele hbo-studies die opleiden voor het werk in een laboratorium zoals bij het RIVM.

Leerdoel
– Je kunt beschrijven welke problemen door antigenen kunnen ontstaan bij transplantaties en bloedtransfusies.

4 Transplantatie en bloedtransfusie

Vroeger gingen veel mensen dood na een transplantatie en ook bloedtransfusies waren geen succes. Pas na de ontdekking van de bloedgroepen door Karl Landsteiner in 1901 ging het stukken beter.

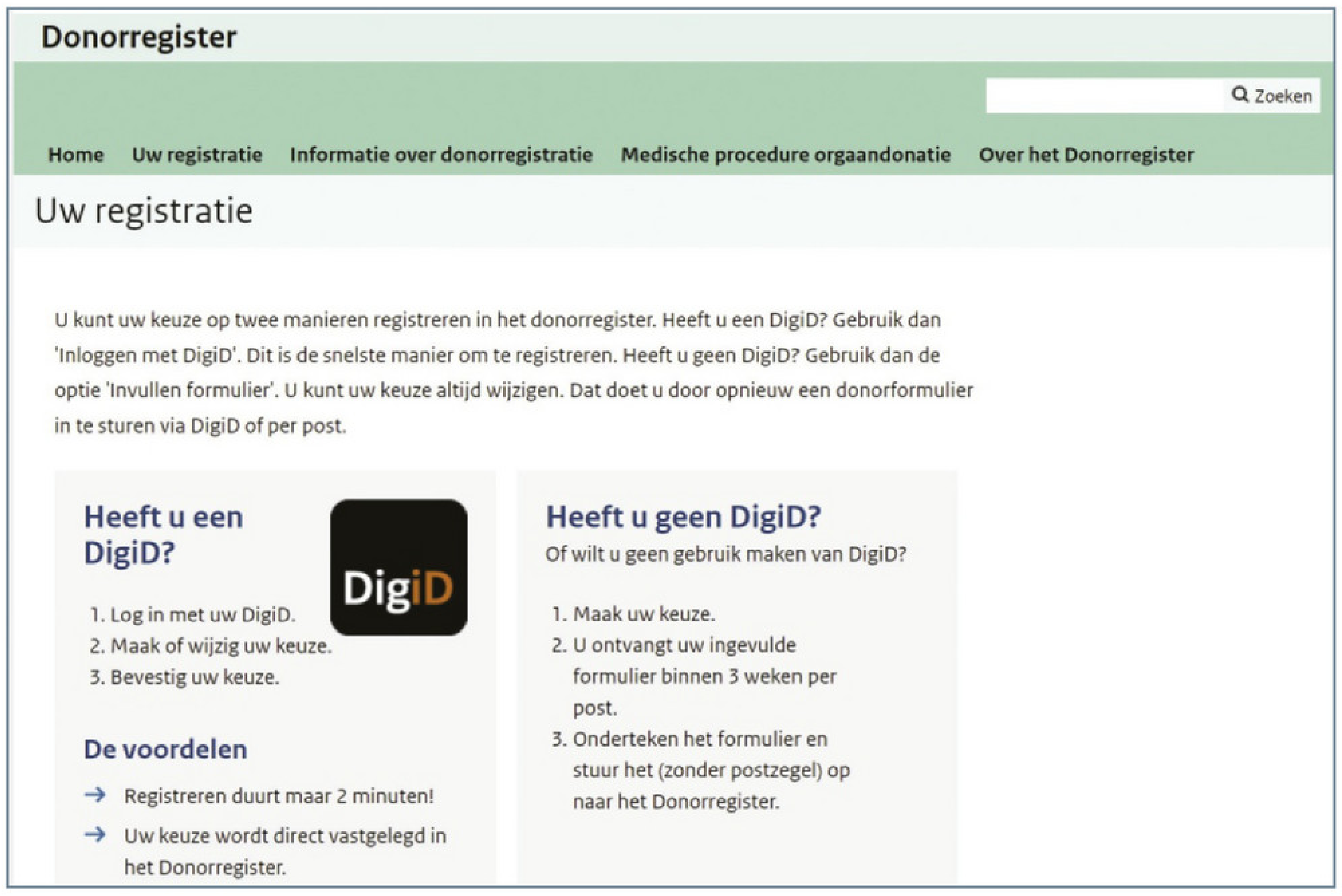
TRANSPLANTATIE

Bij een **transplantatie** wordt een aangetast weefsel of orgaan vervangen. Het nieuwe weefsel of orgaan kan afkomstig zijn van de patiënt zelf (de **acceptor**), maar ook van iemand anders (een **donor**). Als het weefsel of orgaan afkomstig is van een donor, is er kans op een **afstotingsreactie**. Afstotingsreacties worden opgewekt door eiwitten op de celmembranen van het getransplanteerde weefsel of orgaan. Deze eiwitten worden door het afweersysteem van de acceptor gezien als antigenen. De eiwitten komen voor op alle cellen van zoogdieren, behalve op rode bloedcellen, en zijn voor ieder individu uniek (alleen eeneiige tweelingen hebben dezelfde eiwitten). Dankzij dit systeem, het **Major Histocompatibility Complex** of **MHC**, kunnen lymfocyten de eigen cellen onderscheiden van lichaamsvreemde cellen. Bij mensen wordt dit systeem **Human Leukocyte Antigen** (**HLA**) genoemd. Voorafgaand aan een transplantatie moet worden onderzocht of het HLA-systeem van de donor past bij het HLA-systeem van de acceptor. Aangezien de kans hierop klein is, is er een internationaal registratiesysteem ontwikkeld om geschikt donormateriaal voor een acceptor te vinden. Wanneer een donororgaan beschikbaar komt, bijvoorbeeld na een ongeval, kan via dit systeem snel worden bekeken voor welke patiënt dit orgaan het meest geschikt is (HLA-matching).

De HLA-systemen van donor en acceptor komen vrijwel nooit 100% overeen. Afstotingsreacties treden vooral op doordat T-cellen van de acceptor de antigenen op de membranen van de donorcellen herkennen. Donorcellen worden dan door de T-cellen vernietigd. Afstotingsreacties door de vorming van antistoffen door de acceptor komen veel minder vaak voor. Als ze voorkomen, leiden ze vaak tot een zeer snelle afstoting (**acute afstoting**). Afstotingsreacties kunnen worden onderdrukt met medicijnen die het gehele afweersysteem onderdrukken.

DONORREGISTRATIE

Alle Nederlandse ingezetenen van 18 jaar en ouder krijgen een **donorverklaring** toegestuurd. Daarmee kun je aangeven of je wel of geen orgaandonor wilt zijn. Tegenwoordig kan dit ook eenvoudig online (zie afbeelding 31). De gegevens worden centraal geregistreerd in het **Donorregister**. Een arts kan bij overlijden meteen in het register nagaan welke beslissing iemand heeft genomen, waardoor een donororgaan veel sneller bij de juiste patiënt terechtkomt. Snelheid is geboden, want een hart bijvoorbeeld kan slechts ongeveer vier uur in goede toestand worden bewaard.
Er zijn in Nederland meer mensen die een donororgaan nodig hebben dan er organen beschikbaar komen. Om het tekort tegen te gaan wordt in juli 2020 de Wet op de orgaandonatie gewijzigd. Onder de nieuwe wet wordt iedereen die zelf geen keuze maakt, geregistreerd als orgaandonor (‘geen bezwaar’).



▶ **Afb. 31** Donorregistratie via DigiD.

opdrachten

26 Bij transplantatie kan een afstotingsreactie optreden.
- **a** Welke cellen van het afweersysteem zijn meestal verantwoordelijk voor afstotingsreacties?
- **b** Wat is het doel van HLA-matching?
- **c** Bij ernstige brandwonden wordt soms een stuk huid van de patiënt getransplanteerd van een onbeschadigd lichaamsdeel naar het verbrande deel.
 Zal deze transplantatie afstotingsverschijnselen veroorzaken? Leg je antwoord uit.
- **d** Bij beenmergtransplantaties gaat de voorkeur uit naar een donor die broer of zus is van de acceptor. Leg dat uit.
- **e** Wat wordt bedoeld met afstemming op weefseltypering?

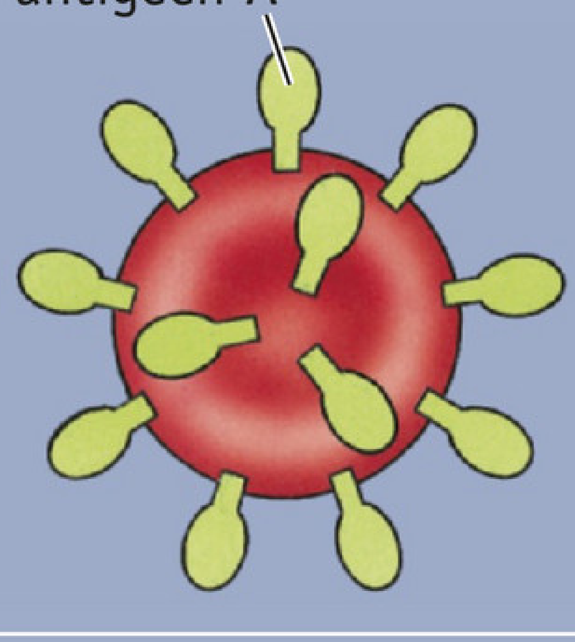
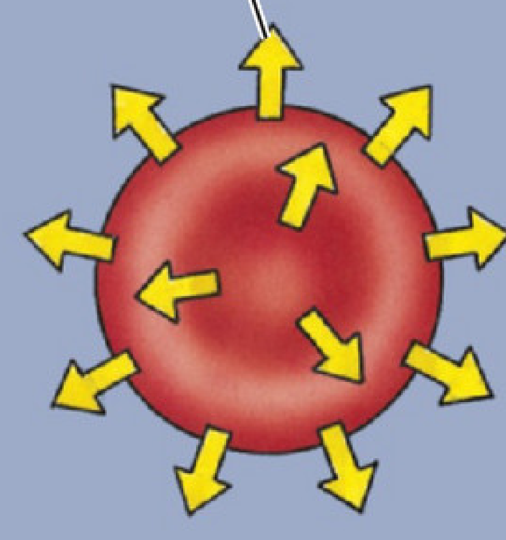
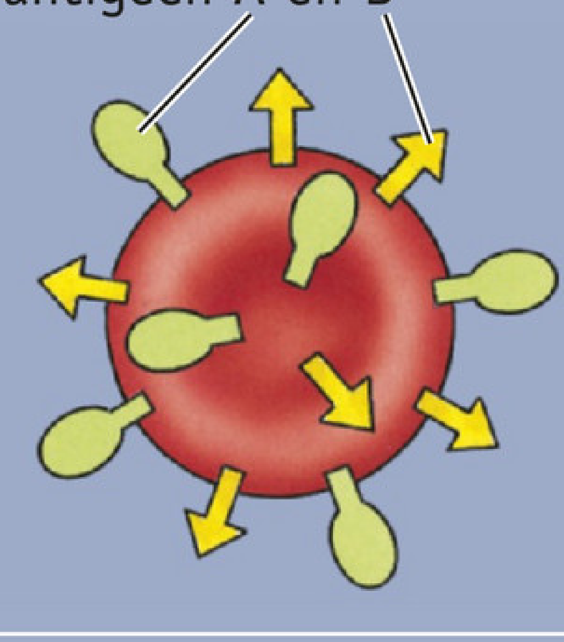
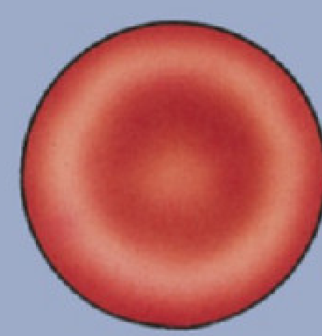
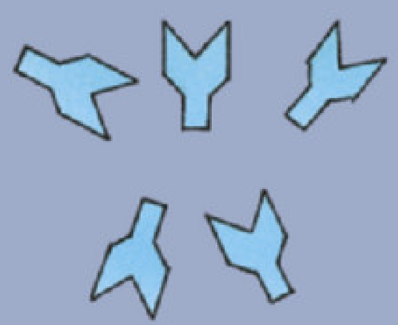
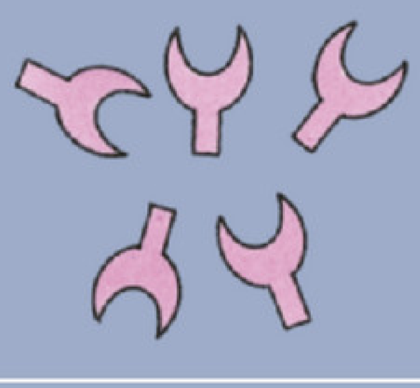
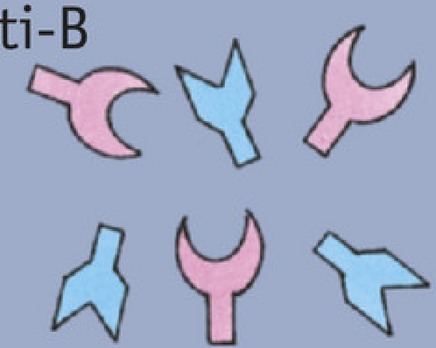
27 De nieuwe donorwet leidde tot veel discussie. Sommige mensen zijn bijvoorbeeld van mening dat de staat eigendom wordt van je lichaam bij een systeem van ‘geen bezwaar’. Je bent dan immers donor vanaf het moment dat je wordt geboren, tenzij je ouders of vanaf je 16e jijzelf, expliciet aangeven dat niet te willen. Dit zou in strijd zijn met een elementair mensenrecht, namelijk dat jij zelf beschikt over je eigen lichaam en niet een overheid.
- **a** Leg uit of je het met deze stelling wel of niet eens bent.
- **b** Sommige mensen willen geen donor zijn, omdat ze bang zijn dat ze mogelijk eerder dood worden verklaard om hun organen.
 Leg uit dat deze angst waarschijnlijk ongegrond is. Gebruik hiervoor ook internet.

BLOEDGROEPEN

Op de celmembranen van rode bloedcellen komen geen HLA-eiwitten voor, maar wel antigenen die kunnen leiden tot afweerreacties. Op grond van deze antigenen zijn er meer dan driehonderd systemen ontwikkeld om bloedgroepen in te delen. De belangrijkste systemen zijn het **AB0-systeem** en de **resusfactor**.

Het AB0-systeem bestaat uit de bloedgroepen A, B, AB en 0 (nul). Hierbij zijn twee antigenen betrokken (zie afbeelding 32). Mensen met bloedgroep A hebben op de celmembranen van rode bloedcellen het antigeen A, mensen met bloedgroep B hebben het antigeen B. Mensen met AB hebben beide antigenen. Iemand met geen van beide antigenen behoort tot bloedgroep 0.

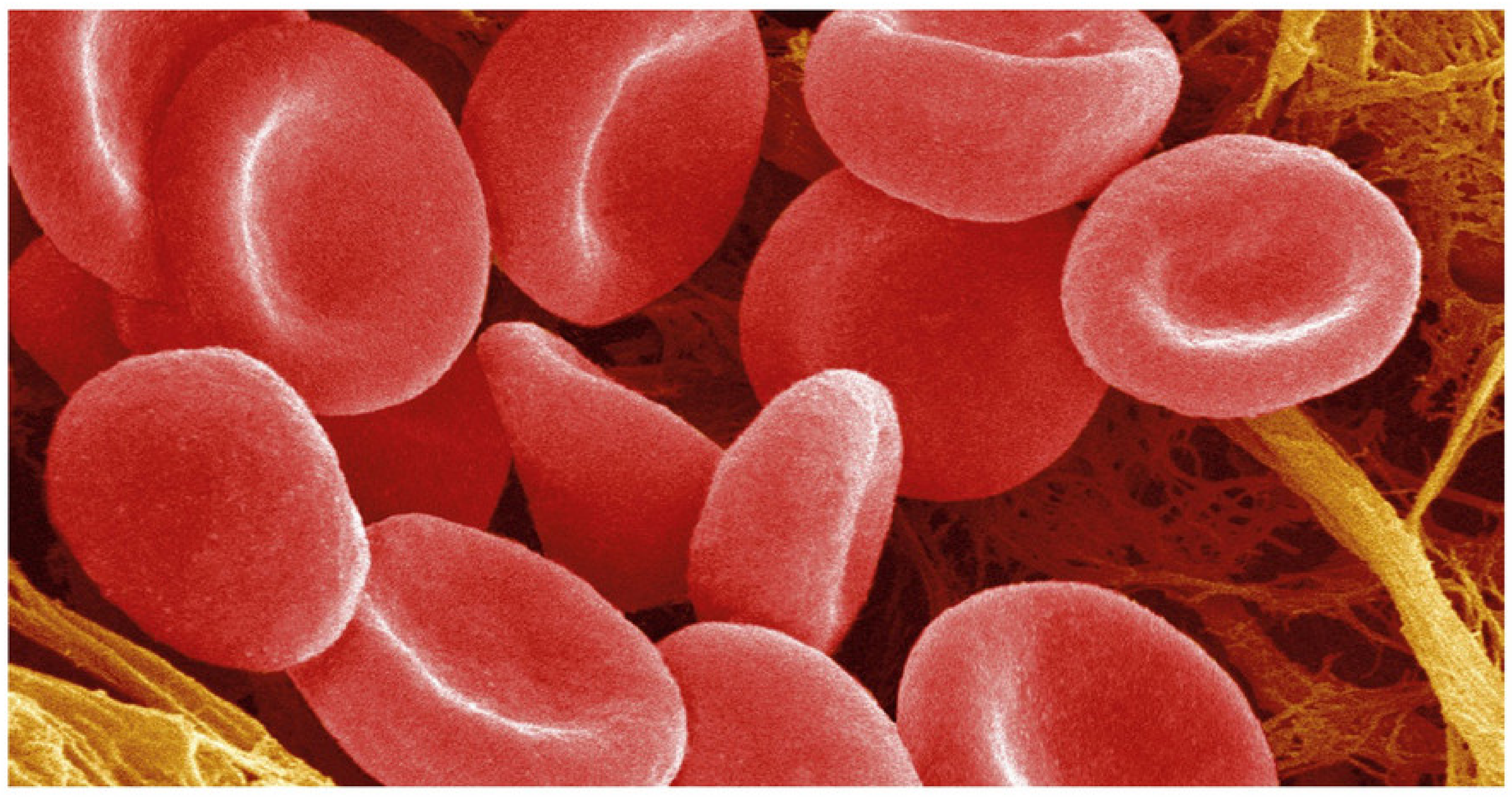
▼ **Afb. 32** Antigenen en antistoffen bij de bloedgroepen van het AB0-systeem.

	Bloedgroep A	Bloedgroep B	Bloedgroep AB	Bloedgroep 0
Antigenen aan rode bloedcellen	antigeen A 	antigeen B 	antigeen A en B 	geen antigeen A geen antigeen B 
Antistoffen in bloedplasma	anti-B 	anti-A 	geen anti-A geen anti-B	anti-A anti-B 
% in Nederland	43%	9%	3%	45%

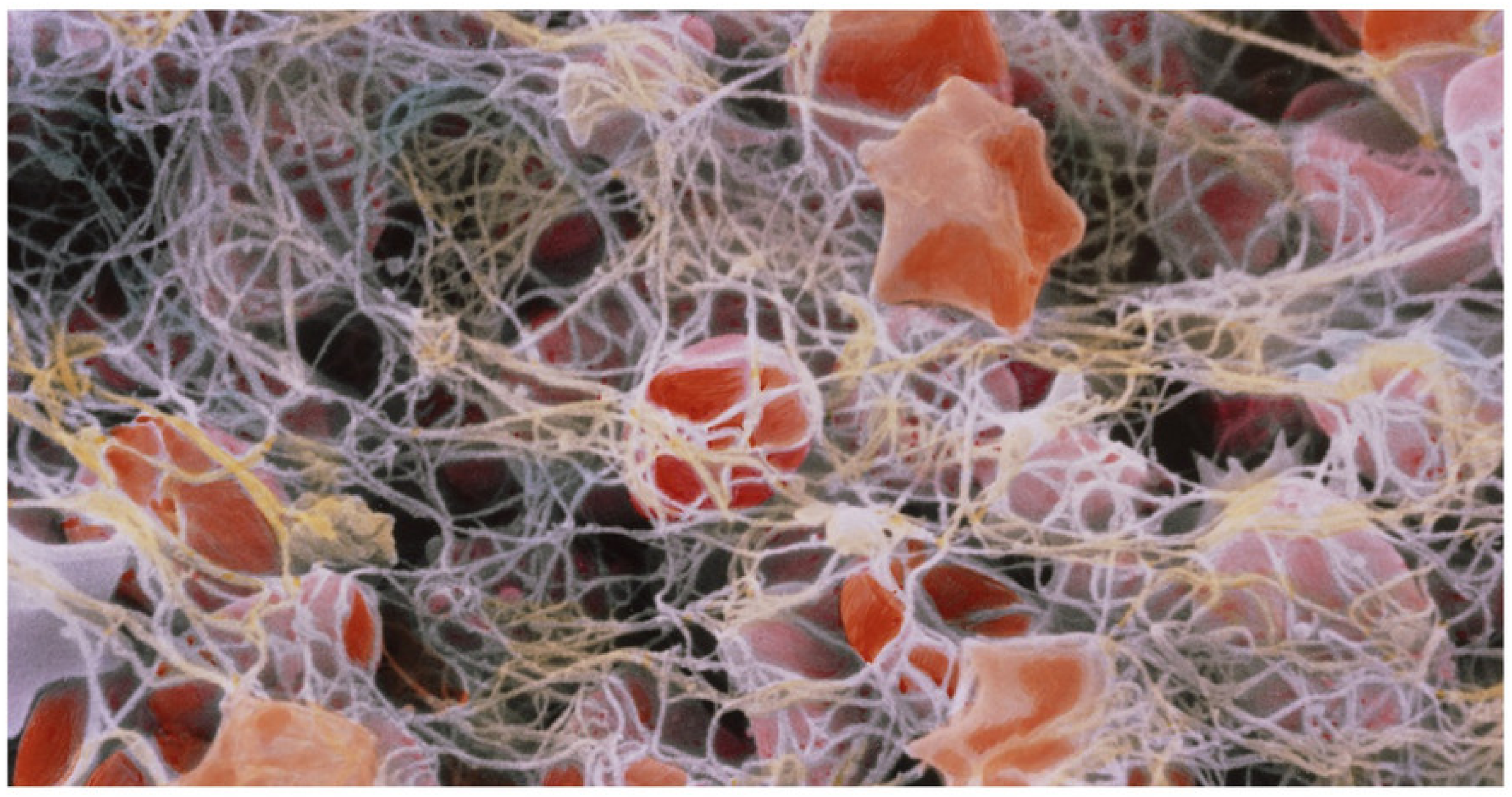
Bij ieder mens bevat het bloedplasma de antistoffen tegen de antigenen die niet op de celmembranen van hun rode bloedcellen voorkomen. Bij iemand met bloedgroep A zit dus antistof tegen B in het bloedplasma en iemand met bloedgroep B heeft antistof tegen A. Mensen met bloedgroep 0 hebben antistof tegen zowel A als B. Deze antistoffen worden vlak na de geboorte gevormd.

Rode bloedcellen klonteren samen als het antigeen in contact komt met de antistof (zie afbeelding 33). De samengeklonterde bloedcellen blijven steken in de haarvaten en gaan te gronde. Hierdoor komt hemoglobine vrij in het bloedplasma. Dit proces wordt **hemolyse** genoemd. Het kan onder andere hersen- en nierbeschadigingen tot gevolg hebben en zelfs leiden tot de dood. Een patiënt moet dus bij voorkeur donorbloed van dezelfde bloedgroep ontvangen. Tegenwoordig worden bij een bloedtransfusie alleen nog maar rode bloedcellen toegediend. Door donorbloed te centrifugeren wordt bloedplasma gescheiden van de rode bloedcellen. De antistoffen die in het plasma aanwezig zijn, worden dan niet toegediend. Hierdoor ontstaan meer mogelijkheden voor bloedtransfusies met bloed van een andere bloedgroep.

▼ **Afb. 33** Rode bloedcellen.



1 normaal bloed



2 samengeklonterd bloed

opdrachten

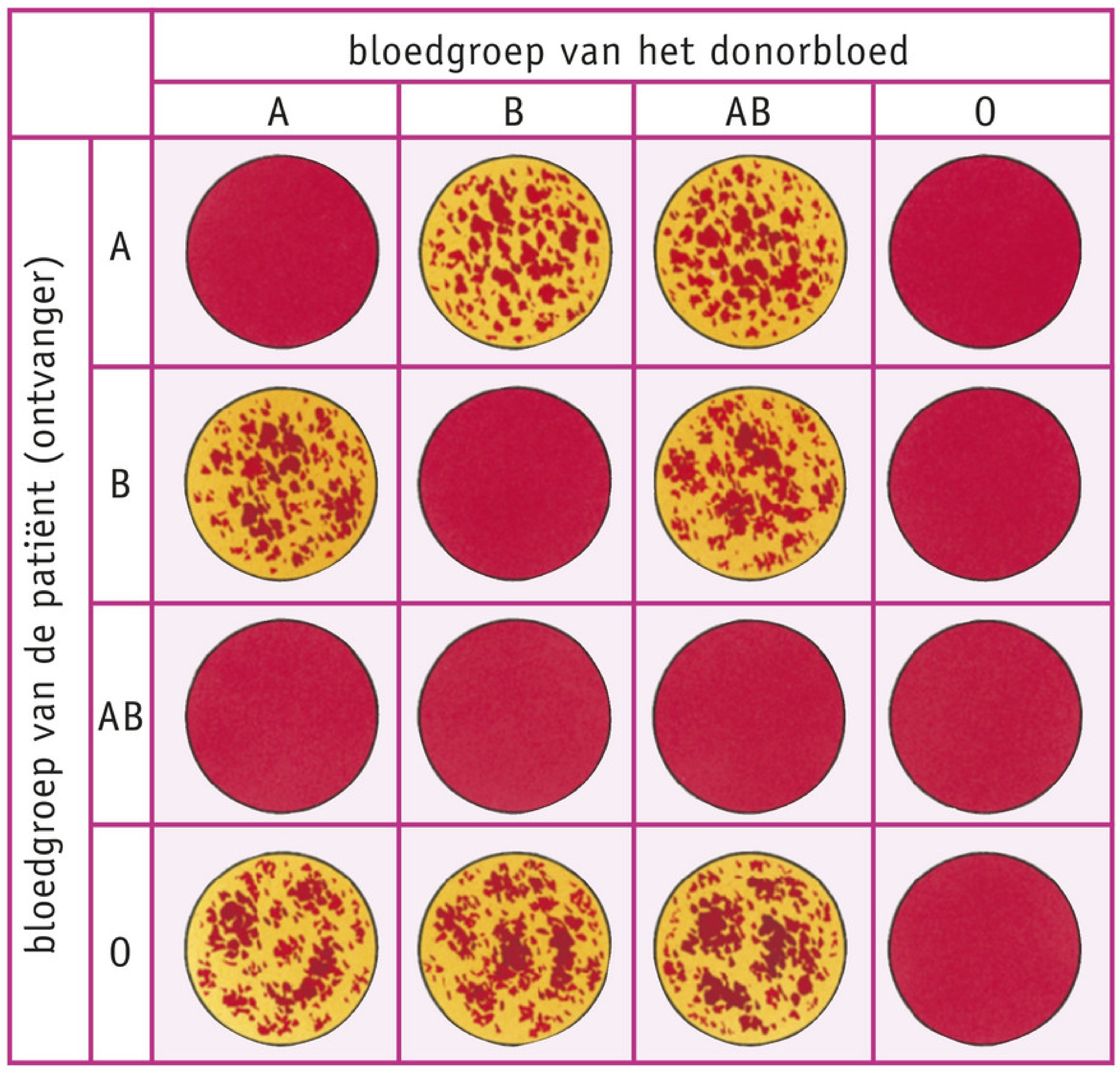
28 In afbeelding 34 geven de egaal ingevulde cirkels aan dat een bloedtransfusie goed verloopt.

a Geef voor elke bloedgroep aan van welke bloedgroep(en) je bloed kunt toedienen aan een patiënt met deze bloedgroep.

b Van welke bloedgroep kun je bloed aan alle patiënten geven? Verklaar waarom.

c Welke bloedgroep moet een patiënt hebben om bloed van alle bloedgroepen te kunnen ontvangen? Leg uit waarom.

d Welke bloedgroep wordt de algemene donor genoemd, en welke bloedgroep de algemene acceptor? Leg je antwoord uit.

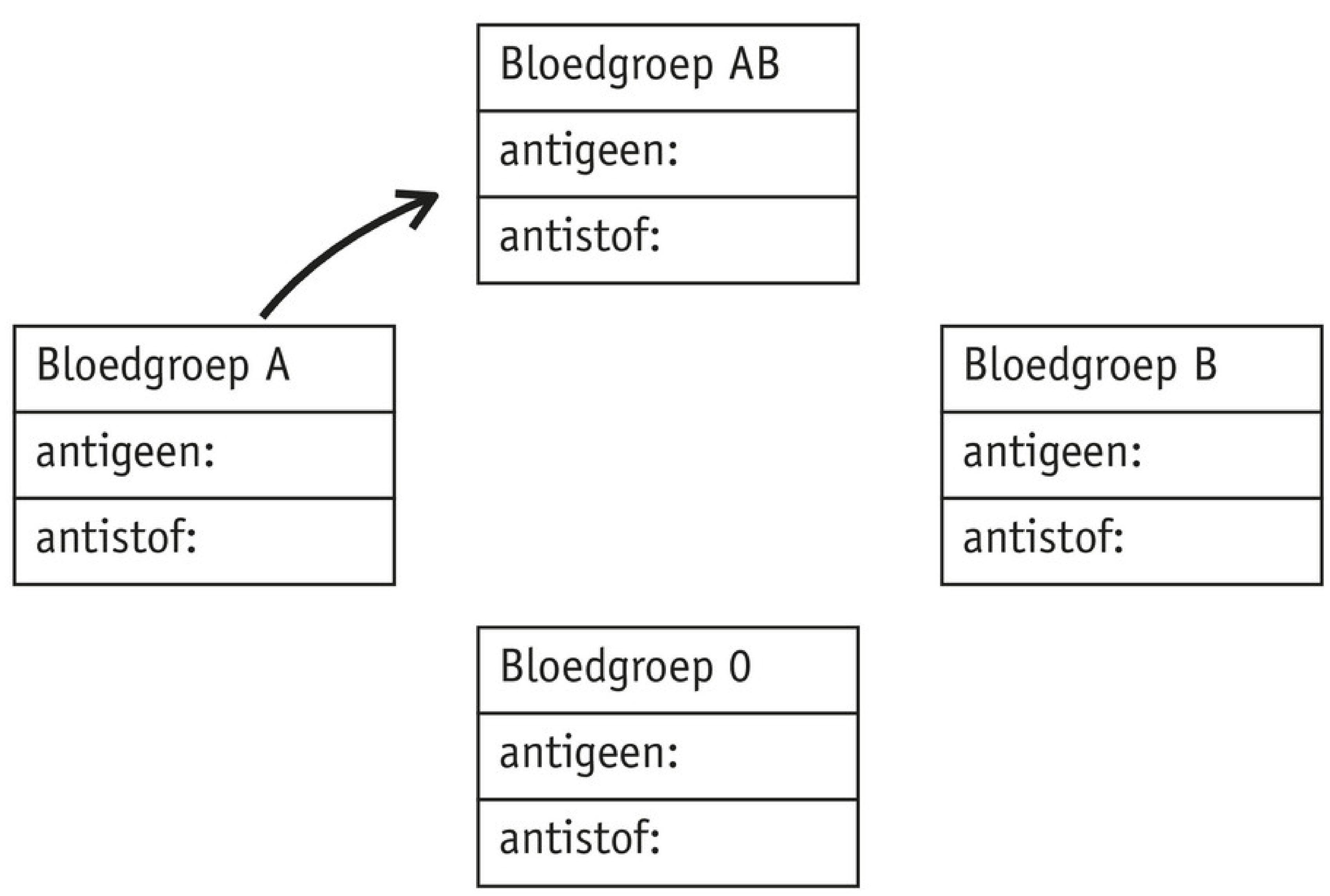


▶ **Afb. 34** Transfusieschema.

29 Neem het schema van afbeelding 35 over.

a Vul bij elke bloedgroep in welke antigenen er aan de rode bloedcellen zitten en welke antistoffen er in het bloedplasma voorkomen.

b Geef met pijlen aan welke bloedtransfusies mogelijk zijn. Dit is voorgedaan voor de transfusie van donorbloed van bloedgroep A naar een ontvanger van bloedgroep AB.



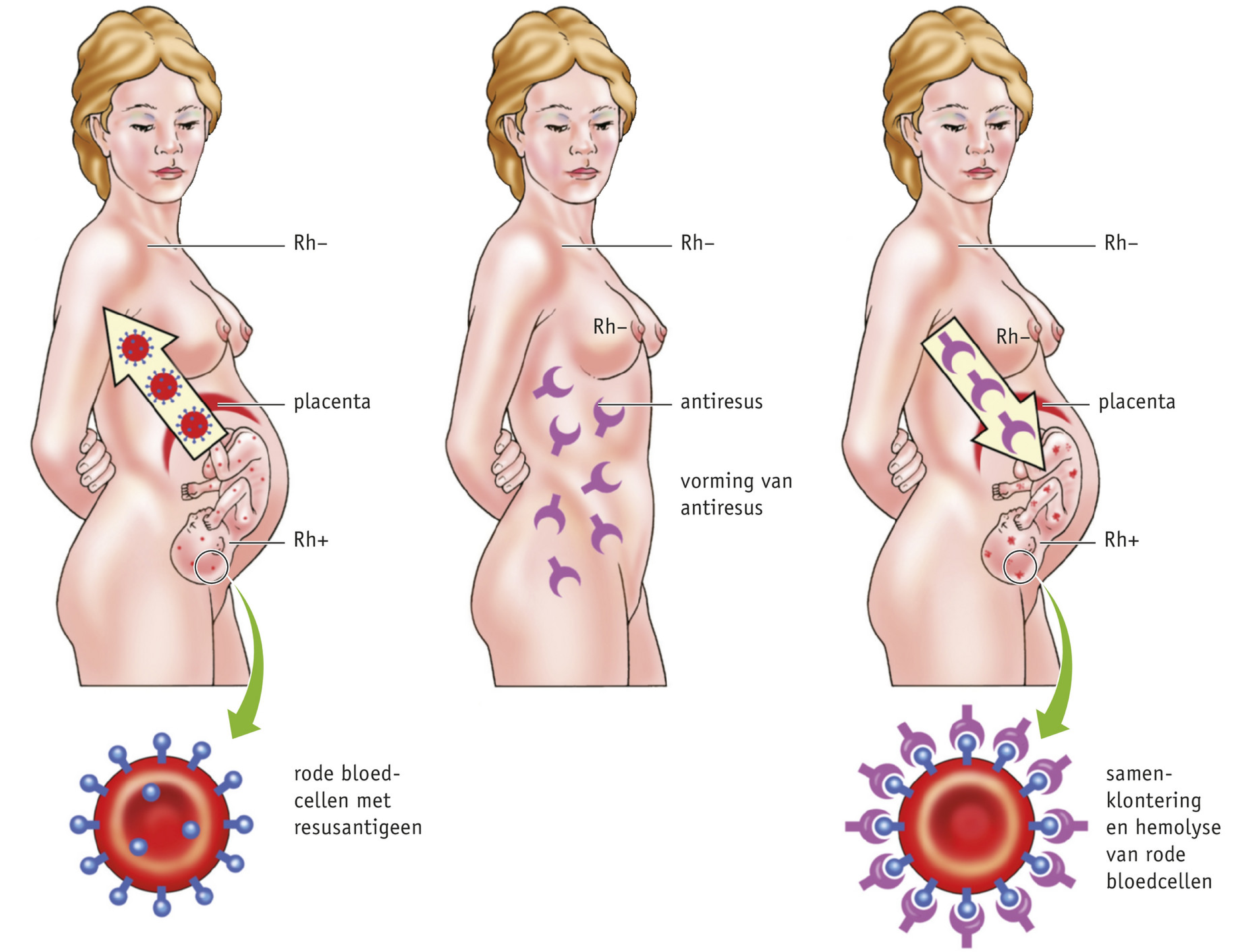
▶ **Afb. 35** Bloedtransfusies.

RESUSFACTOR

Bij 85% van de mensen komt op de celmembranen van de rode bloedcellen een eiwit voor dat ook op de celmembranen van het resusaapje voorkomt. Dit eiwit wordt daarom **resusantigeen** of **resusfactor** genoemd. Bloed met het resusantigeen wordt resuspositief bloed genoemd (Rh+). Mensen die het resusantigeen niet hebben, zijn resusnegatief (Rh–). Deze mensen kunnen antistof (**antiresus**) maken tegen het resusantigeen. Zij maken deze antistof pas als ze in contact komen met resuspositief bloed. Als een patiënt met resusnegatief bloed (bijvoorbeeld A Rh–) resuspositief bloed (bijvoorbeeld A Rh+) ontvangt, zal deze persoon antiresus maken (primaire reactie). Hierdoor klonteren de rode bloedcellen van het donorbloed samen en treedt hemolyse op.

Het resusantigeen kan problemen geven bij zwangerschap. Dit is het geval als een resusnegatieve vrouw zwanger is van een resuspositief kind (zie afbeelding 36). Door scheurtjes in de placenta kunnen rode bloedcellen van het kind in de bloedsomloop van de moeder terechtkomen. Vooral tijdens de bevalling kunnen lekken in de placenta ontstaan. De moeder maakt dan antiresus.

▼ **Afb. 36** Het ontstaan van een resuskindje (schematisch).



1 bij de eerste zwangerschap en geboorte

2 tussen de eerste en tweede zwangerschap

3 bij de tweede en volgende zwangerschappen

Voor het eerste kind heeft dat geen gevolgen. Na de eerste bevalling bevat het bloed van de moeder echter antiresus. Als bij een volgende zwangerschap het kind weer resuspositief is, kan er antiresus uit het bloed van de moeder door de placenta in het bloed van het kind terechtkomen. Er kunnen dan rode bloedcellen van het kind samenklonteren en er kan hemolyse optreden. Een kind bij wie deze verschijnselen optreden, wordt een **resuskindje** genoemd.
Bij een resusnegatieve moeder wordt, direct na de geboorte van een resuskind, antiresus ingespoten. Als er dan rode bloedcellen met resusantigeen van het kind in het bloed van de moeder terecht zijn gekomen, klonteren deze door het ingespoten antiresus meteen samen en worden ze afgebroken. Het afweersysteem van de moeder zal de resusantigenen van het kind niet waarnemen, waardoor het zelf geen antiresus en geheugencellen maakt. Het ingespoten antiresus wordt na verloop van tijd afgebroken.
Als een resuspositieve moeder zwanger is van een resusnegatief kind, zijn er geen problemen. Het kind kan tijdens de eerste maanden nog geen antistoffen maken.

opdrachten

30 Een 12-jarige jongen heeft nog nooit een bloedtransfusie gehad. Deze jongen heeft bloedgroep A Rh–.

a Bevat het bloed van deze jongen antiresus? Leg je antwoord uit.

b Kan bij een bloedtransfusie bloed van deze jongen worden gegeven aan een patiënt met bloedgroep A Rh+? Leg je antwoord uit.

31 Het resusantigeen kan problemen geven bij zwangerschap.

a Wanneer gaat een resusnegatieve vrouw die zwanger is van een resuspositief kind antiresus maken?

b Als een resusnegatieve vrouw zwanger is van een resuspositief kind, levert dat de eerste keer geen problemen op. Leg uit waardoor niet.

c Een resusnegatieve moeder krijgt na de geboorte van een resuspositief kind antiresus ingespoten.
Met welke vorm van immunisatie is dit te vergelijken?

d Waardoor maakt deze moeder na immunisatie zelf geen antiresus?

32 Wanneer een moeder met bloedgroep A zwanger is van een kind met bloedgroep B en moeder en kind dezelfde resusfactor hebben, zijn er geen problemen te verwachten.
Kunnen de antistoffen van het AB0-bloedgroepensysteem door de placenta heen? Leg je antwoord uit.

CONTEXT Wetenschap

Varkensembryo met menselijke cellen

▼ **Afb. 37** Een varkensembryo met menselijke cellen.



Varkens worden vaak gebruikt als proefdieren, omdat ze genetisch en qua grootte niet veel van de mens verschillen. Varkenshartkleppen worden al vele jaren ingezet om menselijke hartpatiënten te helpen.
Het is wetenschappers nu ook gelukt menselijke cellen te kweken in een varkenslichaam. Als het ze ook lukt hele menselijke organen in een varkenslichaam te kweken, kan mogelijk ooit het tekort aan donororganen worden opgelost. Dan hoeven acceptoren in de toekomst mogelijk ook niet meer hun hele leven heftige immuunonderdrukkende medicijnen te slikken.
In de verre toekomst gaat het mogelijk zo: een patiënt die een nieuwe alvleesklier nodig heeft, geeft een beetje huidweefsel af in het ziekenhuis. Hieruit kweekt men stamcellen. De stamcellen worden vermengd met een speciaal voor deze taak voorbereid varkensembryo. De menselijke stamcellen groeien in het varken uit tot een menselijke alvleesklier met lichaamseigen cellen. De alvleesklier kan dan probleemloos naar de patiënt worden getransplanteerd.
Dat dit geen sciencefiction is, blijkt uit een recent onderzoek, waarbij een Japans onderzoeksteam een muizen-alvleesklier heeft gekweekt in het lichaam van een rat. Alvleeskliercellen (eilandjes van Langerhans) werden daarna getransplanteerd in muizen met diabetes. De bloedsuikerspiegel van de muizen herstelde zich. Transplantatieafstotingsverschijnselen traden niet op.

opdrachten

33 Xenotransplantatie is het transplanteren van dierlijke organen naar mensen.
- **a** Het kabinet vindt (in navolging van de Gezondheidsraad) xenotransplantatie ethisch aanvaardbaar.
 Wat wordt hiermee bedoeld?
- **b** Wat vind jij van xenotransplantatie? Beargumenteer je mening.
- **c** Geef met het oog op dierenwelzijn een argument tegen de toepassing van dieren voor het maken van menselijke organen.

34 Sommige onderzoekers zijn erg enthousiast over de techniek om organen te produceren met behulp van dieren.
- **a** Geef een argument dat pleit voor verder onderzoek naar deze techniek.
- **b** Geef een argument dat pleit tegen verder onderzoek naar deze techniek.
- **c** Welke genetische modificatie zou de kans op afstotingsreacties van bijvoorbeeld een varkenshart kunnen verkleinen? Betrek in je antwoord de term HLA-systeem.

Je hebt nu de basisstof van dit thema doorgewerkt.

- Controleer met het uitwerkingenboek of je de basisstofopdrachten goed hebt uitgevoerd.
- Je kunt nu verdergaan met de digitale oefentoets. Je kunt de samenvatting en flitskaarten gebruiken om je hierop voor te bereiden.
- Na de digitale oefentoets kun je de paragraaf Samenhang, de examentrainer en de verrijkingsstof doen.

Leerdoelen

- Je kunt de rol van de darmen bij de ontwikkeling van het afweersysteem toelichten voor verschillende organisatieniveaus van de biologie.
- Je kunt de biologische vakvaardigheden evolutionair, ecologisch en vorm-functiedenken toepassen op de rol van de darmen bij de ontwikkeling van het afweersysteem.

Poep, het meest veelzijdige medicijn

Een hapje poep. Wie is er niet groot mee geworden? En of dit al niet onsmakelijk genoeg is, ziet het er ook nog eens naar uit dat poep een veelgebruikt medicijn gaat worden.

Je darmbacteriën spelen een belangrijke rol bij de ontwikkeling van je afweersysteem. Vlak voor je geboorte waren je darmen nog leeg, maar tijdens de bevalling is die steriele darm besmet met poepbacteriën en vaginale bacteriën van je moeder die via je mond zijn binnengekomen. Doordat de meeste darmbacteriën in een zuurstofloze (anaerobe) omgeving groeien en jouw babydarm was gevuld met zuurstof, gingen veel van die bacteriën dood. De bacteriële celwanden werden opgenomen door je darmwand en gebruikt om jouw afweersysteem onderscheid te leren maken tussen wat lichaamseigen of juist lichaamsvreemd was. De bacteriële antigenen zorgden er zodoende voor dat jouw prille afweersysteem deze goede darmbacteriën leerde kennen en ze niet meer aanviel. Deze aangeleerde tolerantie is onderdeel van het aangeboren afweersysteem.

MICROBIOTA

In je darmen is het voortdurend oorlog en vrede. In darmen komen achthonderd tot duizend verschillende bacteriën en evenzoveel virussen voor. Deze ecologische gemeenschap, de microbiota, helpt bij het bestrijden van ziekmakende bacteriën die vanuit de darm je lichaam proberen binnen te dringen.
De samenstelling van de microbiota heeft een grote invloed op je gezondheid. Bij darminfecties en chronische darmontstekingen, zoals de ziekte van Crohn of colitis ulcerosa, is de gezonde darmflora niet in staat om de ziekmakende bacteriën te verdringen. Een poeptransplantatie kan dan dé oplossing zijn. Bij deze behandeling wordt de oorspronkelijke darmflora vervangen door die van een gezonde donor.

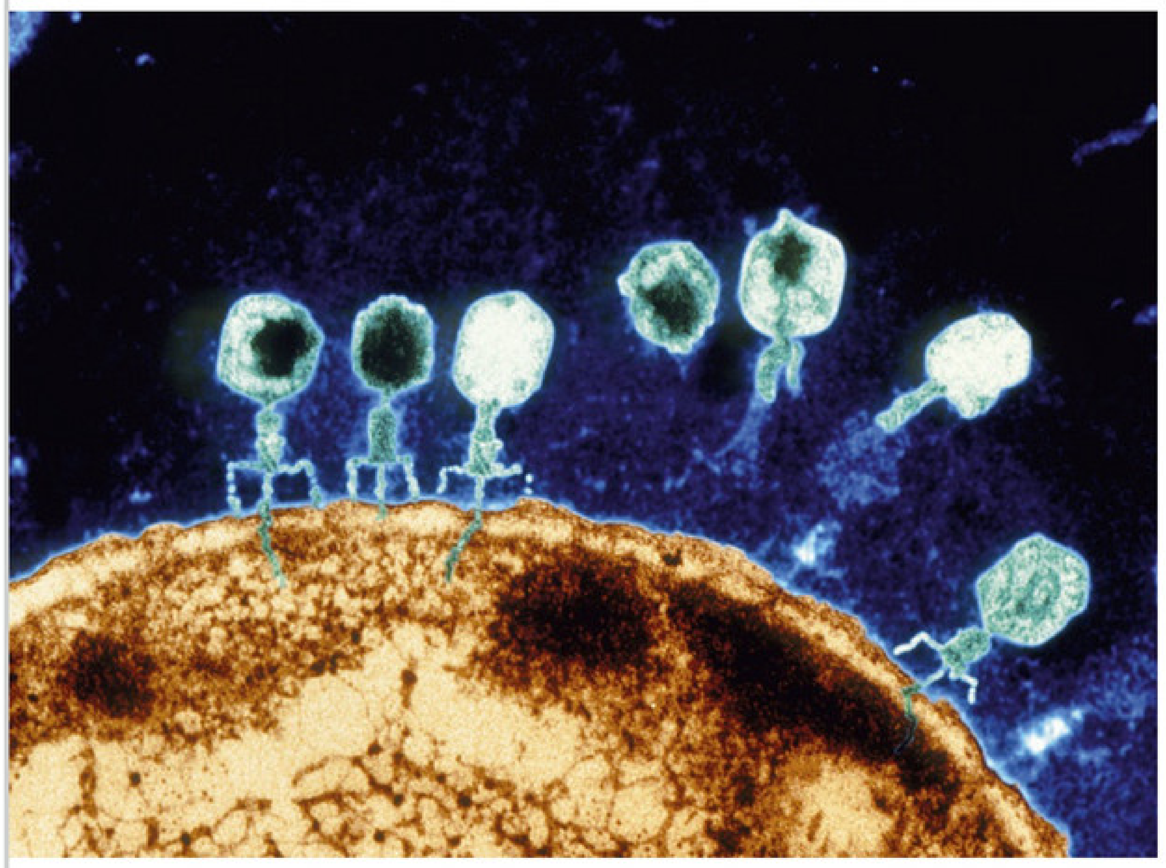
POEPTRANSPLANTATIE

De eerste poeptransplantatie vond plaats in 1958. Toen werd een darminfectie, veroorzaakt door de bacterie *Clostridium difficile*, succesvol behandeld. Deze gevaarlijke bacterie kan een hardnekkige infectie veroorzaken die gepaard gaat met ernstige diarree. Alleen al in de Verenigde Staten veroorzaakt deze bacterie jaarlijks zo'n veertienduizend sterfgevallen. Behandeling met antibiotica is in nog maar 25% van de gevallen effectief. Poeptransplantaties blijken een stuk effectiever: in 90% van de gevallen verdrijft een gezonde darmflora de *Clostridium difficile*-infectie.

Poeptransplantaties lijken de toekomst te hebben. Voor veel succesvolle transplantaties is nog wel standaardisatie van de procedures nodig. Ook die ontwikkeling is nu in volle gang: aan de Universiteit van Guelph in Canada zijn onderzoekers erin geslaagd de belangrijkste bacteriën uit poep van een gezonde donor te isoleren en te vermeerderen. Als je die mix van geïsoleerde bacteriën toevoegt aan een vloeistof, krijg je een soort probioticadrankje dat je kunt drinken als medicijn. Een gezond poepdrankje dus.

Organisatie-niveau	Begrip
Biosfeer	
Ecosysteem	
Populatie	
Organisme	
Orgaanstelsel	
Orgaan	
Cel	
Molecuul	

▼ **Afb. 1** Bacteriofagen injecteren viraal DNA in een *E. coli*-bacterie (TEM).



opdrachten

1 Neem de tabel over en vul begrippen uit de tekst in bij het juiste organisatieniveau.

2 Als een natuurlijke bevalling voor de moeder of de baby levensbedreigend is, komen baby's ter wereld via een keizersnede. Bij een keizersnede wordt een operatieve snede in de buikwand van de moeder gemaakt.
Leg uit dat een keizersnede minder gunstig kan zijn voor de opbouw van het afweersysteem van een baby dan een natuurlijke bevalling.

3 Vooral ouderen raken na een antibioticumbehandeling in het ziekenhuis of zelfs in de behandelkamer van de dokter besmet met *Clostridium difficile*.
Geef daarvoor een verklaring.

4 De behandeling van *Clostridium difficile* met antibiotica is in slechts 25% van de gevallen effectief, doordat de bacteriën resistent zijn geworden tegen antibiotica.
Leg uit hoe een bacteriepopulatie resistent kan worden tegen antibiotica.

5 Leg uit dat poeptransplantatie ook nadelen kan hebben voor de gezondheid van een patiënt.

6 **a** Een antibioticumkuur kan ervoor zorgen dat het uiteindelijk slechter gaat met de patiënt en dat diarreeklachten ontstaan. Leg dat uit.
b Als patiënten naast de antibioticumkuur ook probiotica kregen toegediend, werden diarreeklachten verlicht of tegengegaan. Een probioticum is een voedingsmiddel waaraan 'goede' micro-organismen zijn toegevoegd die de gezondheid bevorderen.
Wat zou een voordeel van probiotica boven poeptransplantatie kunnen zijn?

7 Afbeelding 1 is een elektronenmicroscopische foto van bacteriofagen. Een bacteriofaag is een virus dat bacteriën injecteert met DNA. Daardoor vermenigvuldigt het virus zich in de bacterie en gaat de bacterie dood. Bacteriofagen komen ook voor in de darmen van een mens.
Leg uit dat de bacteriofaag een ideale vorm heeft voor zijn manier van vermenigvuldigen. Geef twee voorbeelden.

8 De meeste darmbacteriën zitten in de dikke darm en zijn betrokken bij de spijsvertering. Ze bezitten enzymen die onverteerbare vezels kunnen afbreken. Een deel van deze verteringsproducten wordt door de darm opgenomen.
a Welke vorm van symbiose bestaat er tussen de mens en de darmbacterie die betrokken is bij de spijsvertering? Leg je antwoord uit.
b Er zijn aanwijzingen dat sommige bacteriesoorten efficiënter voedingsmiddelen afbreken dan andere.
Heeft een persoon met efficiënte bacteriën een grotere kans om dikker te worden of juist slanker? Leg je antwoord uit.

Practica

practicumopdracht 1

Modelleren van een epidemie met Coach

BASISSTOF 3

Zowel bij de mens als bij veel dier- en plantensoorten kan soms een epidemie optreden. Afhankelijk van de besmettelijkheid en de virulentie (ziekmakende kracht) van een bacterie of virus en de mate van immuniteit van mens, dier of plant zal zo'n epidemie veel of weinig slachtoffers maken en dan uitdoven. In deze practicumopdracht onderzoek je de ontwikkeling van een epidemie met behulp van een computermodel.

MATERIAAL

- Modelleerprogramma Coach 6 (of hoger) op computer
- een model van een epidemie (epidemie.cmr, te vinden op de methodesite)

ONDERZOEKSVRAGEN

- Hoe ontwikkelt zich een populatie onder invloed van een epidemie van een erg besmettelijke bacterie of virus met een hoge virulentie, waarbij weinig immuniteit optreedt?
- Hoe verandert de situatie onder invloed van lagere besmettelijkheid, lagere virulentie of meer immuniteit?

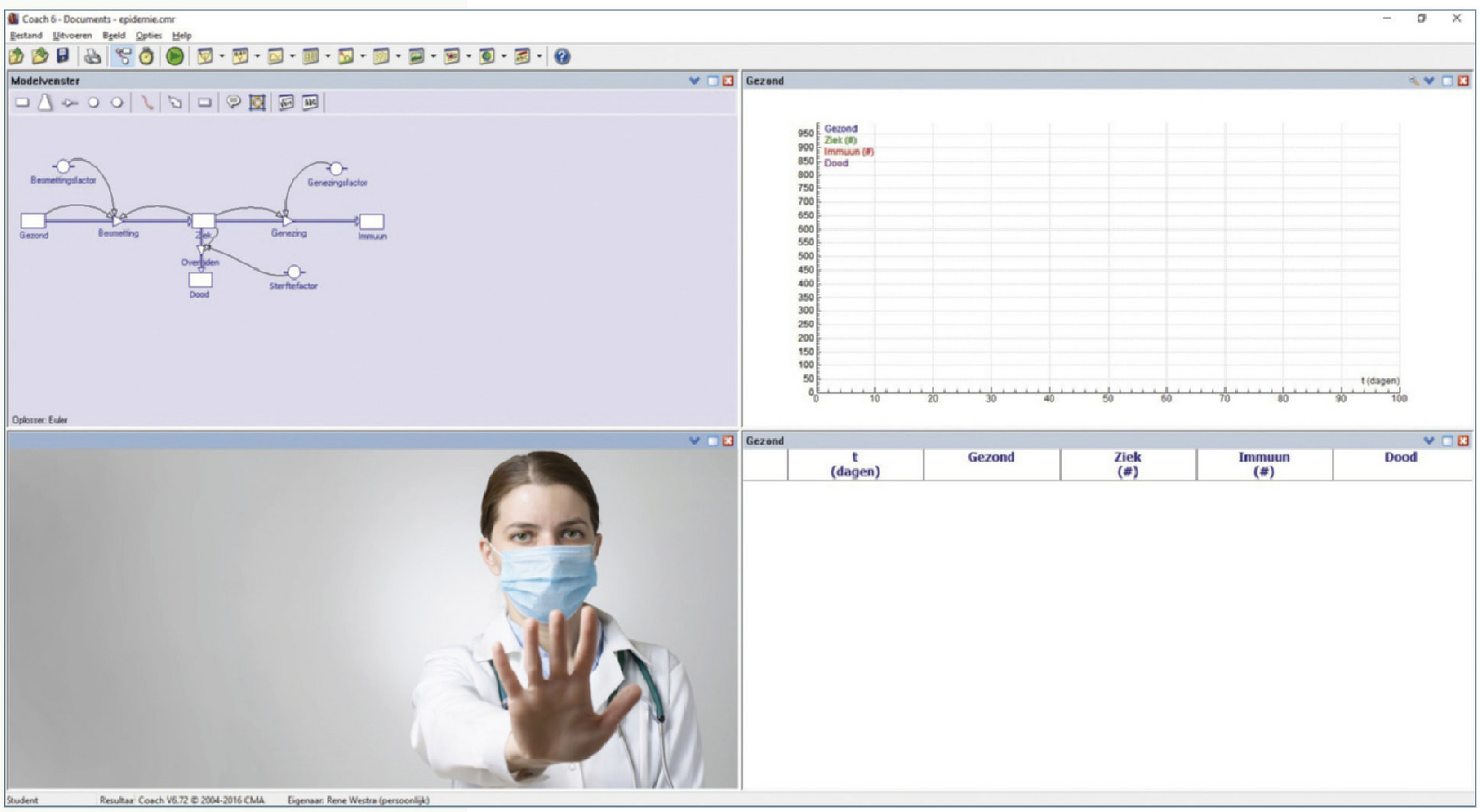
HYPOTHESE

Als een bacterie of virus heel besmettelijk en heel virulent is en er weinig immuniteit is bij de organismen in de populatie, zal een epidemie heel veel slachtoffers maken en dan uitdoven.

METHODE EN RESULTAAT

- Ga naar het modelleergedeelte van het computerprogramma Coach en open het model epidemie.cmr.
- Onderzoek het model. Je ziet vier groepen: gezond, ziek, immuun en dood.

▼ **Afb. 1** Model epidemie.cmr.



1 Dubbelklik op de vier groepen. Welke aantallen zie je aan het begin?
2 Bepaal de waarden van de besmettingsfactor (besmettelijkheid van een bacterie of virus), de sterftefactor (virulentie van bacterie of virus) en de genezingsfactor (kans om immuun te worden) door te dubbelklikken op deze drie variabelen. Verklaar wat de gevonden waarden inhouden.
3 Voorspel wat er zal gebeuren.

– Laat het model het verloop van de epidemie gedurende honderd dagen doorrekenen door op de groene knop ‘start’ te klikken. In de grafiek en de tabel rechts op je scherm zie je de resultaten.

4 Noteer de resultaten. Verklaar de resultaten van de computerberekeningen.
5 Een epidemische ziekte kan ook minder besmettelijk of minder of helemaal niet dodelijk zijn.
Wat betekent dat voor de besmettingsfactor, voor de sterftefactor en voor de genezingsfactor?

– Onderzoek wat er gebeurt als je in dit model:
 a de besmettingsfactor verlaagt tot 0,0005;
 b de sterftefactor verlaagt tot 0,01 of tot 0;
 c de genezingsfactor verhoogt tot 0,5.
 Denk eraan na elke berekening de veranderde factor terug te zetten op de oorspronkelijke waarde.

6 Formuleer eerst een voorspelling over het verloop van de grafieken.
7 Test daarna wat er in het model gebeurt. Geef hiervan een korte beschrijving.
8 Leg uit waarom het belangrijk is na elke berekening de veranderde factor terug te zetten op de oorspronkelijke waarde.
9 Ebola of vogelpest maken heel veel slachtoffers.
Welke van de drie factoren is of zijn hiervoor verantwoordelijk?

CONCLUSIE

10 Beantwoord de onderzoeksvragen.
Is de hypothese juist?

DISCUSSIE

Beantwoord de volgende vragen.

11 Vind je dat zo’n model nuttig is, ook al is het een sterk vereenvoudigd beeld van de werkelijkheid?
12 Noem enkele zaken die in het model zijn weggelaten, maar die in de werkelijkheid wel een rol spelen.

Deze practicumopdracht kan worden uitgebreid. Vraag hiervoor de beschrijving aan je docent.

Samenvatting

LEERDOEL 1 ▶▶ BASISSTOF 1

Je kunt de werking en functie van de huid bij de afweer van de mens beschrijven.

- Infectie: het binnendringen van ziekteverwekkers (pathogenen) in je lichaam.
- Inwendig milieu: deel van het lichaam dat pas kan worden bereikt nadat een celmembraan is gepasseerd.
- Uitwendig milieu: omgeving buiten het lichaam.
- Lichaamsvreemd: stoffen of cellen die niet in je lichaam thuishoren.
- Lichaamseigen: stoffen of cellen die door je lichaam worden gemaakt.
- De huid beschermt het lichaam tegen schadelijke invloeden uit het uitwendige milieu.
 - Slijmvliezen: zorgen er bij openingen in het lichaam voor dat ziekteverwekkers moeilijk kunnen binnendringen.
 - Melanocyten in de kiemlaag produceren pigment (melanine) dat beschermt tegen uv-straling.
- Mechanische afweer: fysieke aanpassingen om indringers buiten te houden.
 - Bijv. de huid en de slijmvliezen.
- Chemische afweer: het gebruik van stoffen om indringers buiten te houden.
 - Bijv. zoutzuur in maagsap doodt bacteriën.

LEERDOEL 2 ▶▶ BASISSTOF 1

Je kunt de afweermechanismen van planten herkennen.

- Planten beschermen zich tegen vraat of infecties door:
 - mechanische afweer, bijv. haren, stekels en doornen;
 - chemische afweer, aanmaak van stoffen die onsmakelijk of dodelijk zijn;
 - indirecte afweer, aanmaak van stoffen die de natuurlijke vijand van de belager aantrekken.

LEERDOEL 3 ▶▶ BASISSTOF 2

Je kunt de vormen van aangeboren afweer beschrijven.

- Aangeboren afweer:
 - gericht tegen vele verschillende ziekteverwekkers (o.a. tegen bacteriën en lichaamsvreemde stoffen);
 - wordt bij infectie snel geactiveerd;
 - komt voor bij alle dieren en planten.
- Fagocytose: insluiting en vertering van ziekteverwekkers door fagocyten (macrofagen).
 - Fagocyten ontstaan uit stamcellen in het rode beenmerg en komen daarna in het bloed terecht.
 - Macrofagen kunnen koorts veroorzaken.
- Koorts: een verhoogde lichaamstemperatuur versnelt de afweerreacties van het lichaam.
- Antibiotica versterken tijdelijk de afweer van het lichaam.
 - Antibiotica zijn werkzaam tegen bacteriële infecties.

LEERDOEL 4 ▶▶ BASISSTOF 2

Je kunt de vormen van verworven afweer beschrijven.

- Verworven afweer:
 - gericht tegen één type ziekteverwekker;
 - komt langzaam op gang;
 - alleen bij gewervelde dieren.
- Specifieke afweerreacties worden opgewekt door antigenen.
 - Antigenen zijn grote moleculen, meestal eiwitten.
 - Antigenen bevinden zich meestal op celmembranen.
 - Herkennen van antigenen gebeurt door specifieke receptoreiwitten.
- Lymfocyten zorgen voor specifieke afweerreacties.
 - Lymfocyten ontstaan uit stamcellen in het rode beenmerg.
 - In het beenmerg ontwikkelen zich B-lymfocyten; in de thymus T-lymfocyten. Hierna komen de lymfocyten vooral terecht in de lymfeknopen en de milt.
- Lymfoïde organen: lymfeknopen, de milt, het beenmerg en de thymus.
- Macrofagen en andere witte bloedcellen kunnen een antigeen op hun celmembraan plaatsen. Ze worden dan antigeen-presenterende cellen genoemd.
- Activatie van lymfocyten:
 - T-lymfocyten delen zich na antigeen-presentatie veelvuldig. Er ontwikkelen zich T-cellen en T-geheugencellen.
 - T-cellen vernietigen geïnfecteerde lichaamscellen, kankercellen of getransplanteerde cellen.
 - Ook B-lymfocyten delen zich na antigeen-presentatie. Er ontwikkelen zich geactiveerde B-cellen en B-geheugencellen.
 - Geactiveerde B-cellen vormen antistoffen tegen antigenen.
 - Tegen een antigeen kunnen verschillende antistoffen worden gevormd.
- Antigeen-antistofcomplex:
 - Een antigeenmolecuul en een antistofmolecuul vormen een antigeen-antistofcomplex.
 - De ziekteverwekker wordt onschadelijk gemaakt, bijv. door aantasting van het celmembraan of door fagocytose.
- T-geheugencellen en B-geheugencellen.
 - Blijven inactief bij een eerste infectie.
 - Bij een volgende infectie herkennen ze het antigeen en volgt een snelle afweerreactie.

LEERDOEL 5 ▶▶ BASISSTOF 3

Je kunt beschrijven op welke manieren immuniteit kan ontstaan.

- Incubatietijd: de tijd tussen besmetting en de eerste ziekteverschijnselen.
 - Primaire reactie: de antistofvorming na de eerste besmetting met het antigeen van de ziekteverwekker.

 - Secundaire reactie: de antistofvorming na de tweede of volgende besmetting met hetzelfde antigeen. Organisme is immuun, geen symptomen.
- Natuurlijke immuniteit: ontstaat doordat een organisme wordt geïnfecteerd door een ziekteverwekker.
- Kunstmatige immuniteit: ontstaat door immunisatie.
 - Actieve immunisatie (vaccinatie): door inenting met een vaccin (dode of verzwakte ziekteverwekker). De persoon vormt zelf antistof en geheugencellen. De immuniteit is daardoor van langere duur.
 - Passieve immunisatie: door inspuiten van antiserum met antistoffen. De persoon vormt zelf geen antistof en geen geheugencellen. De immuniteit is tijdelijk, doordat de antistof wordt afgebroken en er geen geheugencellen worden gevormd.

LEERDOEL 6 BASISSTOF 4

Je kunt beschrijven welke problemen door antigenen kunnen ontstaan bij transplantaties en bloedtransfusies.

- Transplantatie: aangetast weefsel of orgaan wordt vervangen.
 - Een acceptor ontvangt weefsel of orgaan van zichzelf of van een donor.
- Major Histocompatibility Complex (MHC), bij mensen Human Leukocyte Antigen (HLA):
 - eiwitten op celmembranen voor de herkenning van lichaamseigen en lichaamsvreemde cellen. Het HLA-systeem is voor iedere persoon uniek.
- Afstotingsreactie:
 - Eiwitten op de membranen van donorcellen worden door het afweersysteem van de acceptor herkend als antigenen.
 - Vooral door cellulaire afweer: T-cellen van de acceptor herkennen lichaamsvreemde HLA-antigenen en vernietigen donorcellen.
 - In sommige gevallen: antistofvorming die leidt tot zeer snelle afstoting (acute afstoting).
 - Bij transplantaties worden donoren gezocht van wie het HLA-systeem zo veel mogelijk overeenkomt met dat van de acceptor (HLA-matching).
 - Afstotingsreacties worden onderdrukt met medicijnen die het gehele afweersysteem onderdrukken.
- Bloedgroepen van het AB0-systeem:

Bloedgroep	Antigeen op celmembranen van rode bloedcellen	Antistof in bloedplasma
A	A	anti-B
B	B	anti-A
AB	A en B	geen
0 (nul)	geen A en B	anti-A en anti-B

- Bloedtransfusies:
 - Bij voorkeur heeft de donor dezelfde bloedgroep als de acceptor.
 - Rode bloedcellen klonteren samen als antistof van de acceptor reageert met antigeen van de donor. Rode bloedcellen gaan te gronde, waardoor hemoglobine vrijkomt in het bloedplasma (hemolyse).
 - Bloedgroep o is de algemene donor.
 - Bloedgroep AB is de algemene acceptor.
- Resusantigeen of resusfactor:
 - Eiwit op de celmembranen van de rode bloedcellen; komt voor bij 85% van de mensen.
 - Resuspositief bloed bevat resusantigeen.
 - Resusnegatief bloed bevat geen resusantigeen en kan antiresus bevatten.
- Bloedtransfusies:
 - Bij voorkeur heeft de donor dezelfde resusfactor (en dezelfde bloedgroep) als de acceptor.
 - Transfusie van resusnegatief bloed naar een resuspositieve acceptor is mogelijk.
- Resusnegatieve moeder die zwanger is van een resuspositief kind:
 - Na de bevalling vormt de moeder antiresus.
 - Tijdens de volgende zwangerschap(pen) worden rode bloedcellen van een resuspositief kind afgebroken (resuskindje).
 - Door toediening van antiresus aan de moeder onmiddellijk na de geboorte wordt de vorming van antiresus door de moeder tegengegaan.
- Resuspositieve moeder die zwanger is van een resusnegatief kind:
 - Er zijn geen problemen doordat het kind tijdens de eerste maanden nog geen antistoffen kan maken.

COMPETENTIES/VAARDIGHEDEN

Je hebt de volgende vaardigheden geoefend:

- doelgericht zoeken en selecteren van informatie;
- analyseren welke rol het afweersysteem heeft in natuurwetenschappelijk onderzoek, beroepen en de dagelijkse praktijk;
- toepassen van verschillende fasen van natuurwetenschappelijk onderzoek;
- evalueren van een natuurwetenschappelijk onderzoek;
- geven van een beargumenteerde mening;
- herkennen/gebruiken van biologische en ethische argumenten;
- verklaren van afweermechanismen met behulp van evolutiemechanismen (evolutionair denken);
- met elkaar in verband brengen van delen van het afweersysteem op verschillende organisatieniveaus (systeemdenken).

Examentrainer

ZWARTE DOOD

Bron: examen havo 2016-2, vraag 22 tot en met 25.

Tijdens zijn vakantie in de Verenigde Staten bezoekt Wouter het Grand Canyon National Park. In een van de parkwachtershutten hangt een informatiebulletin over de pest. 'De pest komt toch al eeuwen niet meer voor?' zegt Wouter tegen de dienstdoende parkwachter. 'Toch wel,' antwoordt deze. 'Veel knaagdieren in verschillende staten zijn nog steeds drager van de ziekteverwekker van de pest.' Zou dat dezelfde zijn als de ziekteverwekker die in de middeleeuwen de Zwarte Dood heeft veroorzaakt, vraagt Wouter zich af? Op Wikipedia vindt hij de volgende informatie.

> In de veertiende eeuw is ongeveer een derde van de Europeanen tijdens een epidemie aan de Zwarte Dood gestorven. De ziekteverwekker is *Yersinia pestis*, een bacterie die wordt overgedragen van knaagdieren, via vlooien, op mensen. Symptomen in de eerste dagen na besmetting zijn rilleriheid en koorts. Als de infectie zich uitbreidt naar de lymfeklieren, zwellen deze op. Daarom wordt de ziekte ook wel builenpest genoemd. Bij tijdige behandeling, of als het afweersysteem de ziekte onder controle krijgt, verdwijnen deze builen en treedt genezing op. Indien de bacterie uit de lymfeklieren ontsnapt, kunnen organen zoals de longen worden aangetast of kan de bloedbaan geïnfecteerd raken.

Vlooien bijten hun slachtoffers om bloed op te zuigen uit de haarvaten.

2p **1** In welke eigenschap verschillen haarvaten van aders en slagaders, waardoor haarvaten voor vlooien geschikter zijn om bloed uit op te zuigen?
- A De bloeddruk in haarvaten is lager dan die in aders en slagaders.
- B De stroomsnelheid van het bloed in haarvaten is lager dan die in aders en slagaders.
- C De wand van haarvaten is dunner dan die van aders en slagaders.
- D De zuurstofconcentratie in haarvaten is hoger dan die in aders en slagaders.

Sommige stoffen uit het opgezogen bloed worden in de darmen van de vlo enzymatisch verteerd zodat de vlo ze als bouwstof kan gebruiken. Vier stoffen of groepen van stoffen in het opgezogen bloed zijn: aminozuren, antistoffen, glucose en hemoglobine.

2p **2** Welke van deze stoffen moeten worden verteerd zodat de vlo ze als bouwstof kan gebruiken?
- A aminozuren en glucose
- B aminozuren en hemoglobine
- C antistoffen en glucose
- D antistoffen en hemoglobine

De eerste dagen na besmetting is een patiënt rillerig en krijgt hij koorts.

2p **3** Is er een verband tussen de rilleriheid en de koorts van de patiënt? Zo ja, wat is dan het verband?
- A Ja, doordat de normwaarde in het temperatuurcentrum hoger is afgesteld dan normaal, treden er rillingen op waardoor de lichaamstemperatuur wordt verhoogd.
- B Ja, doordat de normwaarde in het temperatuurcentrum lager is afgesteld dan normaal, treden er rillingen op waardoor de lichaamstemperatuur wordt verlaagd.
- C Nee, er is geen verband tussen deze twee symptomen.

In tegenstelling tot in de middeleeuwen is tegenwoordig behandeling mogelijk als iemand met de pestbacterie is besmet. Indien de infectie de bloedbaan bereikt, treedt bloedvergiftiging op. Als er in dat stadium niet snel met een behandeling wordt gestart, overlijdt de patiënt binnen enkele dagen doordat vitale organen worden aangetast.

2p **4**
- – Verklaar waarom vaccinatie in dit geval geen zin heeft.
- – Noteer een behandeling die in deze situatie wel geschikt is.

HPV-VACCINATIE

Naar: pilotexamen havo 2014-2, vraag 1 en 3 tot en met 5.

Elk jaar wordt bij zeshonderd vrouwen in Nederland de diagnose baarmoederhalskanker gesteld. Jaarlijks sterven ruim tweehonderd vrouwen aan deze vorm van kanker. Belangrijkste boosdoener is het humaan papillomavirus (HPV), dat wordt overgebracht via geslachtsgemeenschap. De Gezondheidsraad heeft berekend dat landelijke vaccinatie van 12-jarige meisjes tot een halvering van dit sterftecijfer kan leiden.
In de havoklas van Ruby wordt veel gepraat over het al dan niet meedoen met de vaccinatie. Ruby wil zich niet laten vaccineren. Ze vindt dat ze al vaak genoeg is ingeënt, bijvoorbeeld tegen de bof, mazelen, rodehond en polio.

2p **5** Waardoor biedt vaccinatie tegen een ziekte zoals mazelen, geen enkele bescherming tegen een andere infectieziekte, zoals rodehond? Gebruik in je antwoord de termen antigeen en antistof.

Op internet zoekt Ruby informatie over HPV en vindt het volgende: ‘Vaak verloopt een HPV-infectie ongemerkt. De infectie wordt in de meeste gevallen door het afweersysteem ongedaan gemaakt. Soms kunnen in de baarmoederhals afwijkende cellen ontstaan. Meestal verdwijnen die afwijkende cellen weer, maar ze kunnen zich ook ontwikkelen tot baarmoederhalskanker. Het kan meer dan tien jaar duren voordat een HPV-infectie tot de ontwikkeling van kanker leidt.’
‘Een infectie met HPV kan soms vanzelf weer genezen.’
Ruby vraagt zich af hoe dat kan.

2p **6** Hoe kan het best worden verklaard dat er dan geen geïnfecteerde cellen meer zijn?
- A De cellen die door het virus zijn geïnfecteerd, gaan door deze infectie dood.
- B De cellen die het virus bevatten, zijn herkend door de specifieke afweer en vervolgens opgeruimd.
- C De virussen buiten de cellen zijn allemaal door macrofagen opgeruimd.

Bij het vaccinatieprogramma van 2008 werd driemaal met hetzelfde type vaccin gevaccineerd. Een herhaling na de eerste vaccinatie vond minstens 21 dagen later plaats, maar niet langer dan drie maanden na de eerste injectie. De derde volgde een halfjaar na de eerste vaccinatie.

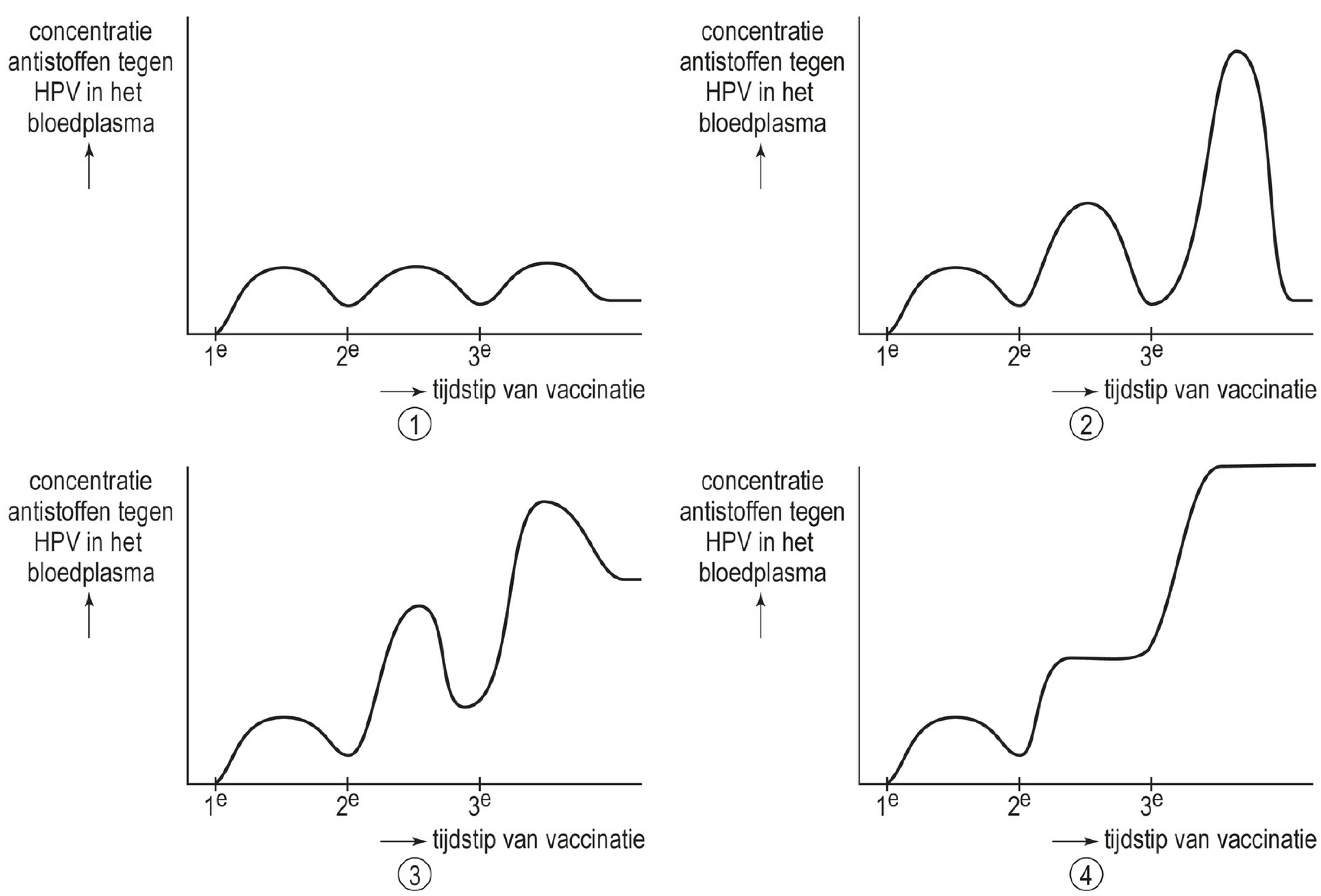
In de klas van Ruby laat de biologiedocent een grafiek zien van het verloop van de concentratie antistoffen tegen HPV in het bloedplasma na de eerste injectie. De grafiek stopt bij de tweede vaccinatie.
De docent vraagt de leerlingen de grafiek over te nemen. Op grond van hun kennis over de vorming van antistoffen bij vaccinaties tekenen ze het verdere verloop van de concentratie antistoffen in het bloedplasma na de tweede en derde vaccinatie. In afbeelding 1 zie je vier van de getekende grafieken.

2p **7** Welke leerling heeft het verloop van de concentratie antistoffen in het bloedplasma juist getekend?
- A leerling 1
- B leerling 2
- C leerling 3
- D leerling 4

De Rijksoverheid roept tegenwoordig voor de HPV-vaccinatie alleen meisjes van 13 jaar op. In de klas ontstaat daarover een discussie. Ruby vindt het eerlijker om ook jongens van deze leeftijd tegen HPV te vaccineren.

1p **8** Geef een biologisch argument dat ervoor pleit om ook jongens tegen HPV te vaccineren.

▼ **Afb. 1** Grafieken verloop concentratie antistoffen tegen HPV in het bloedplasma.



7 Samenhang van de biologie

Dit overzicht behandelt belangrijke onderwerpen uit de biologie vanuit verschillende organisatieniveaus (molecuul, cel, orgaan, organisme, populatie, ecosysteem, biosfeer). Zo leer je de samenhang kennen tussen verschillende biologische begrippen en processen. Hoewel het geen volledig overzicht is van de examenstof, helpt dit thema je wel om verbanden te leggen die bij het examen van pas kunnen komen.

1 Cellen, de basis van het leven 288
2 DNA en erfelijkheid 290
3 Organismen 292
4 De aarde als levend systeem 296





1 Cellen, de basis van het leven

Cellen zijn chemische fabriekjes waarin duizenden chemische reacties plaatsvinden. Zo kunnen bijvoorbeeld koolhydraten worden omgezet in vetten, of eiwitten in koolhydraten. Deze processen worden stofwisselingsprocessen genoemd, omdat de ene stof wordt omgezet in een andere stof.

Stofwisseling

Er zijn twee typen stofwisselingsprocessen: assimilatieprocessen en dissimilatieprocessen. Beide processen vinden continu plaats in de cel.

Bij assimilatie worden organische moleculen opgebouwd uit kleinere (an)organische stoffen. De opgebouwde organische moleculen zijn nodig voor groei, vervanging en herstel, en voor de vorming van reservestoffen. Assimilatieprocessen kosten energie.

Bij dissimilatie worden organische moleculen afgebroken tot kleinere moleculen. Hierbij komt energie vrij. Die energie wordt onder andere gebruikt voor beweging en voor assimilatieprocessen. Ook komt er energie vrij in de vorm van warmte. Een belangrijk dissimilatieproces is de afbraak van glucose. Glucose kan worden afgebroken tot koolstofdioxide, water en energie. Deze afbraak kan plaatsvinden met zuurstof (aerobe dissimilatie of verbranding) of zonder zuurstof (anaerobe dissimilatie of gisting). Verbranding levert meer energie op dan gisting.

Enzymen en andere eiwitten

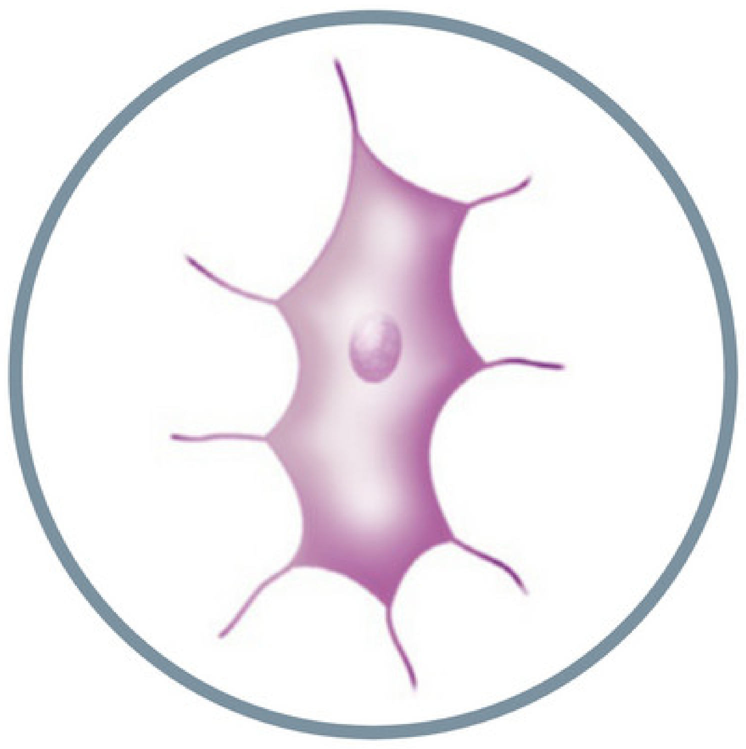
Eiwitten spelen een belangrijke rol binnen de cel en tussen cellen. Eiwitten zorgen voor structuur (cytoskelet, celmembraan), transport (hemoglobine, porie-eiwitten) en communicatie (hormonen, neurotransmitters). Daarnaast spelen eiwitten een rol bij biochemische omzettingen (enzymen).

Enzymen zijn eiwitten die chemische reacties in cellen versnellen zonder daarbij zelf te worden verbruikt. Er vinden honderden verschillende chemische processen plaats in een organisme en elk van die processen wordt gekatalyseerd door een specifiek enzym.

Enzymen hebben een optimumtemperatuur en een optimum-pH. Bij een temperatuur lager dan het optimum zetten enzymen het substraat minder snel om, bij een hogere temperatuur juist sneller. Boven de optimumtemperatuur verliezen enzymen hun specifieke ruimtelijke structuur (denatureren). Daardoor vermindert het aantal nog werkende enzymen. De totale omzetsnelheid neemt daardoor weer af. Door deze eigenschap van enzymen groeien planten bijvoorbeeld minder snel bij een lage temperatuur, en zijn koudbloedige dieren zoals kikkers trager in het voorjaar dan in de zomer.

In een organisme komen enzymen met verschillende optimum-pH's voor. In het verteringsstelsel van de mens komen enzymen voor met een optimum-pH van 6–7 (mond), 1–2 (maag) en 6–8 (darmen).

▼ **Afb. 1** Een cel: een beencel.



SOORTEN CELLEN

Veel organismen zijn eencellig. Complexere organismen, zoals planten en dieren, zijn meercellig. Hun lichamen bestaan uit veel gespecialiseerde cellen die samenwerken. Aan de basis van gespecialiseerde cellen staan stamcellen. Afhankelijk van de omstandigheden vormen ze bepaalde celtypen, weefsels en organen.

Hoewel er vele gespecialiseerde cellen zijn, delen alle cellen bepaalde eigenschappen. Zo is elke cel omgeven door een selectief-permeabel membraan dat de doorgang van stoffen tussen de cel en de omgeving regelt. Sommige stoffen diffunderen van een plaats met een hoge concentratie naar een plaats met een lage concentratie. Deze vorm van passief transport kost geen energie. Andere stoffen moeten actief door de cel worden opgenomen of uitgescheiden. Actief transport kost wel energie.

Nog een overeenkomstige eigenschap van cellen is dat elke cel de genetische informatie in het DNA gebruikt voor het maken van eiwitten.

CELDELING

Cellen zijn biologische eenheden die zich kunnen delen. Dit is nodig zodat organismen kunnen groeien of beschadigde delen kunnen herstellen.

Voordat een cel zich deelt, vindt eerst DNA-replicatie plaats. Daarna volgt de deling van de kern (mitose) gevolgd door de celdeling. Tot slot snoert de cel tussen de kernen in en ontstaan er twee nieuwe cellen: de moedercel en de identieke dochtercel.

Na de celdeling worden nieuw cytoplasma en organellen gevormd. Vervolgens vindt er opnieuw replicatie en mitose plaats. Dit proces van replicatie, deling en groei tot aan de volgende replicatie wordt de celcyclus genoemd.

2 DNA en erfelijkheid

In de natuur bestaan twee typen voortplanting: geslachtelijk en ongeslachtelijk. Bijna alle planten kunnen zich op beide manieren voortplanten. Veel dieren kunnen zich, net als de mens, alleen maar geslachtelijk voortplanten.

VOORTPLANTING

Bij ongeslachtelijke voortplanting worden dezelfde genen doorgegeven. Dit is vooral gunstig voor de soort onder gelijkblijvende omstandigheden. Geslachtelijke voortplanting leidt tot recombinatie, waardoor het nageslacht genetisch verschilt van de ouders. Dit is vooral gunstig onder veranderende milieuomstandigheden, omdat soorten zich dan sneller kunnen aanpassen.

CHROMOSOMEN EN GENEN

Elk mens ontstaat uit een eicel en een zaadcel. Elk van deze geslachtscellen bevat 23 chromosomen met DNA. Bij voortplanting komen deze chromosomen bij elkaar en zo ontstaat een nieuwe mens met unieke genetische eigenschappen.
Het erfelijk materiaal van de mens bestaat uit 23 paar chromosomen. De DNA-moleculen in deze chromosomen bestaan uit verschillende genen. Elk gen codeert voor één of meer erfelijke eigenschappen.
Het gen bestaat uit een willekeurige volgorde van vier verschillende nucleotiden, dat de informatie bevat voor de aanmaak van een of meer eiwitten.
In lichaamscellen komen chromosomen voor in paren en ligt de informatie voor een erfelijke eigenschap in een genenpaar. Een van de genen van een genenpaar wordt ook wel een allel genoemd. Bij twee gelijke allelen spreekt men van homozygoot, bij twee ongelijke genen van heterozygoot.

▼ **Afb. 2** Een molecuul: DNA.



VAN DNA TOT EIWIT

Elk DNA-molecuul is opgebouwd uit vier verschillende stikstofbasen (nucleotiden). De volgorde van deze vier nucleotiden in het DNA bepaalt de code voor erfelijke informatie.
Voor de aanmaak van eiwitten wordt langs het gen een RNA-molecuul gemaakt. RNA bestaat uit een lange reeks van codons. Een codon bestaat uit drie nucleotiden en codeert voor één aminozuur (bouwsteen van een eiwit). De codonvolgorde van RNA wordt door een ribosoom afgelezen en vertaald in een eiwit. Hierbij koppelt het ribosoom de aminozuren aan elkaar tot een eiwit. Er komen bij mensen twintig verschillende aminozuren voor. Twaalf daarvan kan het lichaam zelf maken, de andere acht (de essentiële aminozuren) moeten in het voedsel aanwezig zijn.
Eiwitten kunnen honderden tot duizenden aminozuren lang zijn. Doordat de aminozuurvolgorde en lengte van elk type eiwit verschillend zijn, verschillen deze in eigenschappen.
Het startcodon AUG, dat codeert voor methionine, is het begin van elke aminozuurketen. De eiwitsynthese stopt wanneer een ribosoom een stopcodon bereikt. De functie van eiwitten wordt bepaald door de aminozuurvolgorde en de ruimtelijke structuur.

GENEXPRESSIE

Elke cel van ons lichaam bevat hetzelfde DNA, maar een cel maakt slechts een klein aantal eiwitten.
Genen kunnen onder bepaalde omstandigheden worden aan- of uitgezet (genregulatie). Wanneer een gen aan staat, wordt de informatie van het DNA via het RNA en de ribosomen omgezet in een eiwit (genexpressie).
Het reguleren van de genexpressie maakt het voor cellen mogelijk om verschillende eiwitten (bijvoorbeeld enzymen) te produceren op het moment dat de cel ze nodig heeft. De genexpressie in een cel hangt af van de milieufactoren en de celfunctie. Soms wordt de invloed van het milieu op genexpressie overgeërfd, zonder dat daarbij het DNA verandert. Dit wordt bestudeerd in het vakgebied epigenetica.

MUTATIES EN TUMOREN

Mutaties zijn veranderingen in de nucleotidevolgorde van het DNA. Er zijn verschillende typen mutaties. Een puntmutatie is een verandering in één nucleotide-paar. Bij een genoommutatie verandert het aantal chromosomen in een cel, zoals bij het syndroom van Down.
Mutaties kunnen spontaan plaatsvinden of worden veroorzaakt door mutagene stoffen of mutagene straling (radioactieve straling, uv-straling of röntgenstraling). Het effect van mutaties is groot in geslachtscellen, in een bevruchte eicel of in een cel van een embryo. Mutaties in lichaamscellen hebben over het algemeen geen merkbare gevolgen.

Mutaties leiden vaak tot een verandering in vorm en functie van het eiwit. Daardoor kunnen bijvoorbeeld bepaalde stofwisselingsprocessen niet meer (goed) verlopen. Mutaties leiden niet tot merkbare gevolgen als een mutatie heeft plaatsgevonden in een uitgeschakeld gen, of als het triplet met de veranderde base nog steeds voor hetzelfde aminozuur codeert. Daarnaast heeft een mutatie in een eiwit geen gevolgen als de mutatie optreedt op een plaats die voor de werking onbelangrijk is.

Mutaties in lichaamscellen kunnen soms leiden tot tumoren (gezwellen). Een goedaardige tumor is een tumor die de bouw van het weefsel niet verstoort en waarvan er geen cellen loslaten die elders uitzaaiingen veroorzaken. Kwaadaardige tumoren (kanker) delen sneller dan goedaardig tumoren. Ze verstoren de bouw van het weefsel en veroorzaken uitzaaiingen (metastase). Naarmate de cel ouder is, neemt de kans op mutaties toe.
Mutaties kunnen echter ook een positief effect hebben op de overlevingskans van het organisme. Ze spelen zo een belangrijke rol bij de evolutie. Door opeenvolgingen van mutaties, recombinatie en natuurlijke selectie kunnen soorten zich door de jaren heen aanpassen aan de omgeving.

DNA-MODIFICATIE

Met onze huidige kennis kunnen wetenschappers de erfelijke eigenschappen van organismen wijzigen. Hierdoor krijgt een organisme eigenschappen die het van nature niet bezit. Dit heet genetische modificatie.
Een voorbeeld van genetische modificatie is de recombinant-DNA-techniek. Hierbij wordt een gen van een bepaald organisme ingebracht in een ander organisme, vaak een bacterie. Dit kan doordat alle organismen dezelfde nucleotiden in het DNA hebben. Bacteriën met recombinant-DNA produceren eiwitten die kunnen worden gebruikt voor specifieke doeleinden, bijvoorbeeld om medicijnen te maken. Organismen waarbij het DNA is veranderd, heten transgeen of genetisch gemodificeerd organisme.

3 Organismen

De cellen van je lichaam zijn gegroepeerd in weefsels en organen. Elk orgaan in het lichaam heeft zijn eigen functie(s). Zo zorgen de organen van het verteringsstelsel ervoor dat voedingsstoffen worden opgenomen. De longen zorgen voor aanvoer van zuurstof en afvoer van koolstofdioxide.

▼ **Afb. 3** Een orgaan: een bot.



HOMEOSTASE

Alle cellen in weefsels en organen hebben een continue stroom aan voedingsstoffen en zuurstof nodig. Daarnaast produceren ze afvalstoffen en warmte die moeten worden afgevoerd. Dit gebeurt met extracellulaire lichaamsvloeistoffen, zoals weefselvloeistof en bloed in de bloedvaten. Dankzij deze vloeistoffen krijgen cellen de stoffen die ze nodig hebben en worden de afvalstoffen afgevoerd.
Het is voor cellen van levensbelang dat deze stoffen voortdurend worden aangevoerd en afgevoerd. Hersencellen bijvoorbeeld gaan dood als ze slechts enkele minuten geen zuurstof krijgen. Een verandering van de lichaamstemperatuur en pH kan de enzymwerking verstoren, waardoor bepaalde stofwisselingsprocessen minder optimaal verlopen. Een verlaging van de koolstofdioxidespanning kan leiden tot hyperventilatie.

Lichaamscellen functioneren het best wanneer het inwendige milieu van de mens zo veel mogelijk constant wordt gehouden. Dit wordt ook wel homeostase genoemd. Voor het reguleren van de homeostase worden allerlei waarden gemeten en vergeleken met de normwaarde, zoals de temperatuur, de hoeveelheid glucose en koolstofdioxide in het bloed en de zuurgraad. Hiervoor zijn het zintuigstelsel, het autonome zenuwstelsel en het hormoonstelsel verantwoordelijk.
Het handhaven van homeostase vindt meestal plaats door regelkringen met negatieve terugkoppeling, een controlemechanisme waarbij waarden op het juiste niveau worden gehouden. Hierdoor ontstaat een dynamisch evenwicht.

VERTERINGSSTELSEL

Het verteringsstelsel is een belangrijk orgaanstelsel waarmee het organisme voedsel kan opnemen. Dieren eten voedsel om organische moleculen en mineralen binnen te krijgen. Sommige organische moleculen kan het menselijk lichaam niet zelf maken. Deze moeten daarom in het voedsel voorkomen. Tot deze groep van essentiële voedingsstoffen behoren sommige aminozuren, vetzuren, vitaminen en mineralen.
Voor de mens is het doel van verteren om voedsel zo klein te maken dat het door de darmwand kan worden opgenomen. Voedsel komt via de mond het verteringsstelsel binnen en wordt daar door kiezen tot kleine stukjes vermalen. Daardoor neemt het oppervlak van het voedsel toe en kan het beter worden verteerd door enzymen uit het speeksel, de maag, de alvleesklier en de dunne darm. De maag produceert naast enzymen ook maagzuur, dat de meeste bacteriën uit het voedsel doodt. In de twaalfvingerige darm wordt onder andere gal aan de voedselbrij toegevoegd om vetten te emulgeren. Hierdoor neemt het oppervlak van de vetten toe, zodat enzymen beter bij het vet kunnen en het sneller wordt afgebroken.

De dunne darm heeft een groot oppervlak door een sterke plooiing. Hierdoor is de resorptie van voedingsstoffen groot. Resorptie is niet alleen een actief proces,

maar kan ook selectief plaatsvinden. In de dikke darm wordt water geresorbeerd en vindt de productie van vitamine K door bacteriën plaats. De onverteerde voedselbrij verlaat het verteringsstelsel samen met veel darmbacteriën via de anus.

UITSCHEIDINGSORGANEN

Om de homeostase in stand te houden, worden stoffen uit je bloed verwijderd en buiten je lichaam gebracht. Zo scheidt de lever gal en ureum uit. De longen scheiden koolstofdioxide en water uit. De nieren scheiden onder andere water, ureum en mineralen uit, waardoor ze een belangrijke rol spelen in het handhaven van de osmotische waarde van het interne milieu. De huid scheidt mineralen en water uit, waardoor deze een belangrijke rol speelt in het handhaven van een constante lichaamstemperatuur.

BLOED

De aanvoer van stoffen naar en de afvoer van stoffen uit de cellen in het menselijk lichaam wordt verzorgd door hart en bloedvaten. De gesloten dubbele bloedsomloop bij mensen transporteert glucose vanuit de lever en spieren, en zuurstof vanuit de longen naar de cellen toe. Water en afvalstoffen van cellen passeren de nieren en longen en kunnen daar worden uitgescheiden.

Bloed bestaat uit verschillende componenten. Bloedplasma transporteert onder andere voedingsstoffen, afvalstoffen en hormonen. De witte bloedcellen spelen een belangrijke rol bij de afweer. Bloedplaatjes zijn nodig voor bloedstolling. Rode bloedcellen vervoeren zuurstof en koolstofdioxide via het eiwit hemoglobine.
In hemoglobine zit ijzer, dat zuurstof kan binden. IJzergebrek kan leiden tot vermoeidheidsverschijnselen, doordat het bloed te weinig zuurstof vervoert naar de cellen. Hierdoor kunnen cellen minder energie vrijmaken.

DE BLOEDVATEN

Het hart pompt het bloed via slagaders naar de organen. Omdat de druk hoog is, zijn de slagaders dik, stevig en elastisch. In organen vertakken de slagaders zich in steeds fijnere bloedvaten. De hoeveelheid bloed die door een weefsel of orgaan stroomt, kan in deze fijnere bloedvaten worden geregeld.
De slagaders vertakken zich uiteindelijk tot haarvaten, waarvan de wand uit één cellaag bestaat. De bloeddruk zorgt ervoor dat vocht met stoffen de haarvaten verlaat en als weefselvloeistof cellen voorziet van voedingsstoffen en zuurstof.
In de haarvaten stroomt het bloed langzaam en wordt zuurstof losgekoppeld van hemoglobine. De zuurstofmoleculen diffunderen via de weefselvloeistof naar de cellen.
Bij dissimilatie in de cellen ontstaat koolstofdioxide, dat via de weefselvloeistof naar het bloed in de haarvaten diffundeert. Door osmotische druk wordt weefselvloeistof met daarin afvalstoffen weer opgenomen in de haarvaten of in het lymfesysteem.
Haarvaten herenigen zich tot aders. Hierdoor stroomt het bloed terug naar het hart. De wanden van aders zijn dunner en minder elastisch dan die van slagaders. De bloeddruk is lager en in veel aders bevinden zich kleppen die het bloed in één richting doorlaten.

De poortader is een bijzondere ader, omdat deze niet rechtstreeks van de darmen naar het hart gaat, maar naar de lever. Doordat in de darmwand resorptie van voedingsstoffen plaatsvindt, kan de samenstelling van het bloed in de poortader sterk variëren.

Een teveel aan glucose wordt in de lever omgezet in glycogeen. Hierbij speelt het hormoon insuline een belangrijke rol. Bij een laag glucosegehalte van het bloed wordt glucagon afgegeven waardoor glycogeen weer wordt omgezet in glucose die aan het bloed wordt afgegeven. Het bloed transporteert de hormonen van de alvleesklier die deze processen regelen. De lever en de alvleesklier vervullen zo een belangrijke functie in het constant houden van de glucosespiegel.

AFWEER

De huid is het grootste orgaan van de mens. De huid beschermt het lichaam tegen beschadiging, binnendringing van ziekteverwekkers en beschadiging van DNA door ultraviolette straling, uitdroging en oververhitting.

Het immuunsysteem beschermt het lichaam tegen binnengedrongen ziekteverwekkers. Het immuunsysteem kent twee vormen van afweer: aangeboren en verworven afweer. Bij de aangeboren afweer spelen fagocyten (granulocyten en macrofagen) een rol. Zij reageren snel op binnengedrongen ziekteverwekkers door ze te fagocyteren. Daarbij veranderen ze in een antigeen-presenterende cel. De aangeboren afweer is vaak niet afdoende. Aansluitend vindt een tweede type afweer plaats, waarbij lymfocyten een rol spelen. Deze wordt de verworven afweer genoemd.
De verworven afweer is langzamer, maar vaak erg efficiënt doordat afweer tegen een specifieke ziekteverwekker wordt opgebouwd. Hierbij biedt de antigeen-presenterende cel het antigeen van de ziekteverwekker aan een T- en B-lymfocyt aan. De T- en B-lymfocyt worden hierbij geactiveerd. Sommige geactiveerde T-cellen ruimen geïnfecteerde cellen op en andere ontwikkelen zich tot T-geheugencellen. Geactiveerde B-cellen vormen antistoffen en andere ontwikkelen zich tot B-geheugencellen tegen de specifieke binnendringer.
T- en B-geheugencellen worden direct geactiveerd bij een volgende infectie met dezelfde ziekteverwekker, waardoor je immuun voor de ziekte bent geworden (natuurlijke immuniteit).
Actieve immunisatie (kunstmatige immuniteit) wordt verkregen met een vaccin en passieve immunisatie met een antistof.
Afstotingsverschijnselen bij transplantatie worden voornamelijk veroorzaakt door geactiveerde T-cellen.

WAARNEMEN

Prikkels zijn invloeden uit het milieu op een organisme. Zintuigcellen zetten prikkels om in impulsen. Voorbeelden van zintuigcellen zijn lichtreceptoren in de ogen, waarmee je kunt zien, en smaakreceptoren in de tong, waarmee je kunt proeven. Zenuwcellen geleiden en verwerken impulsen.
Dankzij de zintuigcellen kunnen we onze omgeving waarnemen. Als je bijvoorbeeld een warme pan vasthoudt, wordt deze prikkel door pijnzintuigcellen omgezet in impulsen. Deze impulsen worden via de sensorische zenuwcellen naar de hersenen gestuurd. In de hersenschors wordt deze informatie in gevoelscentra geïnterpreteerd als pijn. Je hersenen sturen vervolgens vanuit de bewegingscentra impulsen naar motorische zenuwcellen die de spieren van je vingers controleren, waardoor je de pan loslaat.
Als je echter een heel hete pan vasthoudt, wordt de prikkel ook omgezet in een impuls, maar gaat deze via het ruggenmerg direct naar je spieren van de vingers, waardoor je in een reflex de pan loslaat. Een fractie van een seconde later voel je de intense pijn. De impuls is nu gearriveerd in het gevoelscentrum van je hersenen. Als je vervolgens een pijnstiller inneemt, worden de impulsen bij de synaptische spleet geblokkeerd. Je neemt dan geen pijn meer waar.

Als je met een elektrode de impulsen van de sensorische zenuw in beide gevallen zou meten, dan zou in de situatie met de heel hete pan de frequentie van de impulsen hoger zijn dan in de situatie met de warme pan. De hoogte van de impuls (amplitude) zou gelijk zijn.

Autonome zenuwstelsel

Het autonome zenuwstelsel bestaat uit het orthosympatische deel en het parasympatische deel. Samen zorgen ze voor homeostase. Elk orgaan is verbonden met een orthosympatische en een parasympatische zenuw.
Het orthosympatische deel maakt het lichaam klaar voor actie door de verbranding te bevorderen, de frequentie van hartslag en ademhaling te verhogen, de bloedvaten en de bronchiën te verwijden en de lever aan te zetten tot het vormen van glucose uit glycogeen. Het parasympatische deel brengt het lichaam in een toestand van rust en herstel. Het bevordert onder meer de bloedtoevoer naar het verteringsstelsel.

Gedrag

▼ **Afb. 4** Een organisme: een grutto.



Het zenuwstelsel, zintuigstelsel en hormoonstelsel zijn onmisbaar voor het gedrag van mens en dier. Door hun gedrag kunnen mensen en andere organismen hun overlevingskansen en voortplantingssucces vergroten.
Bij de meeste handelingen reageert een dier of mens op prikkels. De reactie van een dier op prikkels wordt de respons genoemd.
Een sleutelprikkel is een prikkel die een doorslaggevende rol speelt bij het veroorzaken van het gedrag. Een supranormale prikkel is een kunstmatige prikkel die een sterker gedrag opwekt dan de natuurlijke sleutelprikkel.

Gedrag wordt bepaald door verschillende leerprocessen en door erfelijke factoren (aangeboren gedrag of instinct). Aangeboren gedrag heeft als voordeel dat dieren al vanaf de geboorte het passende gedrag kunnen vertonen, bijvoorbeeld een pasgeboren vogel die zich verstopt voor een vos. Leerprocessen zorgen ervoor dat dieren en mensen zich kunnen aanpassen aan veranderende omstandigheden. Daardoor vertonen ze beter aangepast gedrag, wat de overlevingskansen doet toenemen.

Zelfregulatie, zelforganisatie en emergente eigenschappen

Biologische eenheden zoals organismen en cellen zijn in staat om zichzelf in stand te houden door zelfregulatie. Zelfregulatie vindt bijvoorbeeld plaats door herstel van schade en door verdediging tegen indringers en schadelijke stoffen. Om in leven te blijven, moeten organismen ademhalen, zich voeden en zich aanpassen aan hun omgeving. Dieren moeten zich verplaatsen om te overleven. Zelfregulatie komt ook tot stand door hormonen, door zenuwen, door zintuigen en via transport van stoffen.

Complexe zelfregulatie wordt mogelijk doordat biologische eenheden zichzelf organiseren. Door deze zelforganisatie zijn biologische eenheden in staat zichzelf te organiseren tot ‘biologische eenheden van een hogere orde’. Daardoor ontstaan er nieuwe structuren: cellen kunnen zich bijvoorbeeld organiseren tot een weefsel (nieuwe structuur) en weefsels tot een orgaan (nieuwe structuur). Met deze nieuwe structuren ontstaan emergente eigenschappen, die op een lager niveau niet te zien zijn. Een bloedvatenstelsel (organenstelsel) bijvoorbeeld kan bloed rondpompen, een bloedcel (cel) of bloedvat (orgaan) kan dat niet.

4 De aarde als levend systeem

Op een hoger organisatieniveau kun je organismen bestuderen op het niveau van populaties. Populaties leven in een ecosysteem. Alle ecosystemen samen vormen de biosfeer (het systeem aarde).

POPULATIES

▼ **Afb. 5** Een populatie: grutto's.



Een populatie is een groep organismen van één soort die in een bepaald gebied leeft en zich onderling voortplant. Binnen een populatie bestaat er coöperatie (samenwerking) en concurrentie (competitie, strijd). Bij coöperatie kunnen organismen van elkaars aanwezigheid profiteren door bijvoorbeeld samen naar voedsel te zoeken of elkaar te waarschuwen voor roofdieren. Bij concurrentie gaat het bijvoorbeeld om voedsel of om het vinden van een partner voor de voortplanting.

Gedrag wordt bij veel dieren en mensen sterk beïnvloed door soortgenoten. Het gedrag van soortgenoten ten opzichte van elkaar wordt sociaal gedrag genoemd. Tot sociaal gedrag behoort onder andere gedrag dat de functie heeft om de rangorde binnen groepen vast te stellen. Ook speelt sociaal gedrag een rol bij de taakverdeling binnen groepen: wie verzorgt de kinderen, wie bewaakt het territorium? Samenleven in een groep vergroot de kans op overleven, doordat het zorgt voor bescherming en een grotere kans op het vinden van voedsel en op voortplanting.

Net als de gehele natuur zijn ook populaties aan verandering onderhevig. Ze kunnen groeien of krimpen. De verandering van populatiedichtheid wordt onder andere beïnvloed door predatie, parasitisme, ziekte en voedselconcurrentie. Door negatieve terugkoppeling ontstaat een biologisch evenwicht. Ook abiotische factoren hebben invloed op de populatiedichtheid. Bij langdurige droogte kan bijvoorbeeld een plas droogvallen, waardoor een populatie snoeken uitsterft. Veranderingen in de populatiedichtheid kunnen worden geanalyseerd door bepaling van vier grootheden: het geboortecijfer, het sterftecijfer, de immigratie en de emigratie.

ECOSYSTEMEN

▼ **Afb. 6** Een ecosysteem: weidegebied.



Het ecosysteem is een van de hoogste (organisatie)niveaus om de biologie te bestuderen. Een ecosysteem is een begrensd gebied waarin wisselwerking plaatsvindt tussen organismen en de abiotische omgeving. Voorbeelden van ecosystemen zijn bossen, graslanden en koraalriffen.

Ecosystemen bestaan uit verschillende soorten en populaties. Populaties concurreren met elkaar om de beschikbare hoeveelheid voedsel, ruimte of licht. Tussen verschillende soorten vindt interactie plaats. Als individuen van verschillende soorten langdurig samenleven, heet dit symbiose.
Er zijn drie vormen van symbiose: mutualisme, commensalisme en parasitisme. Bij mutualisme hebben beide organismen voordeel. Bij commensalisme heeft één organisme voordeel en het andere geen voor- of nadeel. Bij parasitisme heeft het ene organisme voordeel en het andere nadeel.

In een ecosysteem lopen meerdere voedselketens door elkaar. Dit wordt een voedselweb of voedselnet genoemd. Voedselketens beginnen met autotrofe organismen (voornamelijk planten), die producenten worden genoemd. De volgende schakels zijn heterotrofe organismen (dieren), die consumenten worden genoemd. Tot slot breken reducenten (bacteriën, schimmels) dode resten af tot anorganische stoffen die door producenten weer worden opgenomen.

Een piramide van biomassa geeft weer wat er aan stoffen en energie in elk trofisch niveau in een ecosysteem binnenkomt en wat eruit gaat. Een deel van de biomassa (chemische energie) wordt doorgegeven aan het volgende trofische niveau. Een ander deel van de biomassa wordt verbruikt bij verbranding, verdwijnt via de ontlasting of gaat verloren doordat het afsterft en vergaat. Hoe hoger het trofische niveau, hoe minder energie dit niveau bevat.

Ecosystemen veranderen voortdurend. Successie is de verandering van de soortensamenstelling van een levensgemeenschap, waardoor de levensgemeenschap geleidelijk overgaat in een andere. Successie begint met een pioniersecosysteem en eindigt met een climaxecosysteem. Een voorbeeld is een plas die dichtgroeit met waterplanten en ten slotte overgaat in een moerasbos. Tijdens successie is in het ecosysteem de productie van nieuwe weefsels groter dan de afbraak van weefsels. Hierdoor neemt de biomassa toe. Tijdens successie neemt de diversiteit aan soorten in een ecosysteem toe en begint de vegetatie gelaagdheid te vertonen. In het climaxecosysteem bereikt de biodiversiteit zijn maximale waarde. Voorbeelden zijn het tropisch regenwoud en het koraalrif.

Mens en milieu

Ook mensen leven intensief samen met de natuur. Vanuit menselijk perspectief heet deze leefomgeving 'het milieu'. Omdat er zoveel mensen op aarde wonen, beïnvloeden we het milieu waarin we leven.
De mens gebruikt het milieu onder andere voor de productie van voedsel. Voor de verbouw van gewassen zijn water, koolstofdioxide en meststoffen nodig. In meststoffen zitten nitraat (stikstofbron), fosfaat (fosforbron) en zwavel, die de plant nodig heeft voor de aanmaak van onder andere eiwitten en genetisch materiaal. Doordat een land- of tuinbouwer bij elke oogst planten met daarin de mineralen van het land haalt, moet hij het land steeds opnieuw aanvullen door bemesting met mineralen.

Overbemesting kan leiden tot een toename van mineralen in het oppervlaktewater (eutrofiëring of vermesting). Door eutrofiëring kan waterbloei ontstaan. Bij dit verschijnsel breiden sommige soorten waterplanten (kroos, algen) zich enorm uit door toedoen van nitraat en fosfaat. Deze waterbloei zorgt voor minder licht in het water, waardoor veel waterplanten die onder water leven afsterven. Bij de afbraak van dit materiaal door reducenten wordt veel zuurstof verbruikt, waardoor in het water zuurstofgebrek ontstaat en veel dieren sterven. Dit leidt tot nog meer organisch afval en een sloot of meer waarin vrijwel geen leven meer voorkomt.

Grote stukken land met gewassen in monoculturen zijn gevoelig voor plagen. Plagen worden bestreden met chemische bestrijdingsmiddelen of biologische bestrijdingsmiddelen. Het voordeel van een chemisch bestrijdingsmiddel is dat het snel inzetbaar is en meteen resultaat levert. Nadelen zijn dat het niet-soortspecifiek is en leidt tot accumulatie en persistentie. Biologische bestrijdingsmiddelen leiden niet tot accumulatie of persistentie en zijn soortspecifiek. Een nadeel is dat het een tijd duurt voordat ze efficiënt de plaag stoppen.

▼ **Afb. 7** Biosfeer: systeem Aarde.



DE ATMOSFEER

Naast de bodem en het water vormt de atmosfeer een onderdeel van het abiotische milieu. In de atmosfeer komen verschillende gassen voor die een rol spelen in het leven op aarde.
Van nature bevat de atmosfeer broeikasgassen, zoals koolstofdioxide, waterdamp en methaan. Hierdoor is de gemiddelde temperatuur op aarde geen –18 °C, maar +15 °C. Dankzij broeikasgassen is er veel meer leven op aarde mogelijk.
Door menselijke activiteiten komen er steeds meer broeikasgassen in de atmosfeer terecht. Dit leidt mede tot het versterkte broeikaseffect, waarbij de atmosfeer meer warmte vasthoudt en de temperatuur op aarde stijgt. Door de temperatuurstijging zal een deel van het poolijs smelten en de zeespiegel stijgen. Ook zal het klimaat wisselvalliger worden. Dit kan van invloed zijn op de voedselvoorziening.

KRINGLOPEN

In organismen komen de elementen waterstof, zuurstof, koolstof en stikstof het meest voor. Als een organisme sterft, gaan deze elementen niet verloren, maar ondergaan een kringloop. Op die manier vormt de aarde één groot dynamisch systeem, waarin alle elementen onderling in interactie zijn.
Kringlopen beginnen steeds met de opname van mineralen uit de bodem en de binding daarvan aan een organisch molecuul.

DE KOOLSTOFKRINGLOOP

Koolstof komt in de lucht voor als koolstofdioxide. Via fotosynthese vormen planten hieruit glucose. Bij deze koolstofassimilatie wordt koolstof als anorganische stof opgenomen en ingebouwd in een organische stof. Koolstof kan door planten ook worden omgezet in andere organische stoffen, waaronder koolhydraten, vetten en eiwitten. Als planten worden gegeten, komen de koolstofatomen in heterotrofe organismen terecht. Deze koolstof kan vervolgens worden omgezet in andere organische stoffen, of via dissimilatie worden afgegeven aan de lucht als koolstofdioxide. Een deel verlaat het lichaam als uitwerpselen.

Als organismen doodgaan of lichaamsdelen (zoals haren) verliezen, worden de organische stoffen in dit afval door afvaleters, schimmels en heterotrofe bacteriën afgebroken. Hierbij komt koolstofdioxide vrij, dat wordt afgegeven aan de lucht. Autotrofe organismen kunnen dit koolstofdioxide dan weer opnemen.

DE STIKSTOFKRINGLOOP

Stikstof komt in organismen vooral voor in eiwitten en DNA. In de lucht komt gasvormig stikstof voor, in de bodem zit stikstof in ammonium-, nitriet- en nitraationen.
Planten nemen stikstof op uit de bodem in de vorm van nitraationen. Vlinderbloemige planten hebben in hun wortels knolletjesbacteriën, die stikstof uit de lucht kunnen binden. Bij de stikstofassimilatie worden onder andere eiwitten gevormd. De anorganische stof stikstof wordt dan omgezet in een organische stof. Als een plant door een dier wordt gegeten, worden de plantaardige eiwitten afgebroken tot aminozuren en daarna omgezet in dierlijke eiwitten. Een ander deel wordt in het dier gedissimileerd, waarbij ammoniak vrijkomt. Bij mensen wordt ammoniak omgezet in ureum en uitgescheiden met urine.
Rottingsbacteriën zetten de afbraakproducten van eiwitten om in ammoniak. Ammoniak reageert met bodemwater tot ammonium. Ammoniumionen worden door nitriet- en nitraatbacteriën achtereenvolgens omgezet in nitriet- en nitraationen. Nitraationen worden door planten opgenomen.

EVOLUTIE

De eerste vier miljard jaar van het bestaan van de planeet Aarde waren er geen zichtbare levensvormen. Er leefden toen alleen eencelligen: eerst prokaryoten, waaruit zich door endosymbiose eukaryoten ontwikkelden. Eukaryote cellen ontwikkelden zich tot meercelligen. Na de vorming van planten nam het zuurstofgehalte in het water toe. Later ontwikkelden zich dieren, die weer later het land opgingen.
De drijvende kracht achter de evolutie vormt het DNA. Door mutaties in het DNA ontstaat er variatie in genotypen van organismen. Het best aangepaste organisme overleeft en kan zijn genen via de voortplanting doorgeven aan de volgende generatie. Zo weet de natuur zich voortdurend aan te passen aan de veranderende omstandigheden op onze levende planeet.

A
aangeboren afweer 254
ABO-systeem 271
acceptor 270
actief transport 122
actieve centrum 14
actieve immunisatie 266
acute afstoting 270
ademvolume 214
adenine 53
adenosinedifosfaat 12
adenosinetrifosfaat 12
aderkleppen 166
aders 166
ADH 225
adhesiekrachten 152
ADP (adenosinedifosfaat) 12
adulte stamcellen 71
afstotingsreactie 270
afweer, aangeboren 254
afweer, chemische 250
afweer, indirecte 251
afweer, mechanische 250
afweer, verworven 254
alcoholgisting 30
alvleesklier (pancreas) 112
alvleessap 112
aminozuren, essentiële 102
aminozuur 23
amylase 116
anorganische sapstroom 150
antibioticum 255
antidiuretisch hormoon (ADH) 225
antigeen 256
antigeen-antistofcomplex 258
antigeen-presenterende cel (APC) 258
antiresus 274
antistoffen 258
anus 124
aorta 160
APC 258
appendix 123
assimilatie 11
ATP (adenosinetrifosfaat) 12

B
B-cellen 257
B-geheugencellen 260
B-lymfocyten 257
basale stofwisseling 34
basenpaar 54
basenparing 54
bastvaten 150
beperkende factor 34
bijholten 201
biotechnologie 85
bladgroen 19
bladgroenkorrels 19
blindedarm 123
bloedarmoede 178
bloedcellen, rode 177
bloedcellen, witte 179
bloeddruk 171
bloedplaatjes 178
bloedplasma 176
bloedserum 179
bloedsomloop 153
bloedsomloop, dubbele 155
bloedsomloop, enkelvoudige 153
bloedsomloop, grote 155
bloedsomloop, kleine 154
bloedstolling 178
boezem 160
borstademhaling 211
borstbuis 183
borstvlies 210
bouwstof 102
bovendruk 171
brandstoffen 102
bronchiën 201
bronchiolen 201
buikademhaling 211

C
capillaire werking 152
cDNA 87
celdifferentiatie 71
cellulose 23
celtypen 71
centrale cilinder 151
chemische afweer 250
chemische energie 10
chemische vertering 110
chlyceriden, tri- 25
cholesterol 104
chromatiden 59
CO_2-concentratie 203
codon 64
codon, start- 65
codon, stop- 65
cohesiekrachten 152
copyDNA (cDNA) 87
cytosine 53

D
darmepitheel 122
darmflora 123
darmperistaltiek 110
darmplooien 122
darmvlokken 122
desoxyribose 53
diffusie 203
dikke darm 123
dipeptiden 118
disacharide 22
dissimilatie 11
DNA 52
DNA, copy- (cDNA) 87
DNA, dubbelstrengs 54
DNA, enkelstrengs- 53
DNA, kern- 52
DNA, mt- 52
DNA, niet-coderend 55
DNA, repetitief 55
DNA-analyse 60
DNA-methylering 75
DNA-nucleotiden, vrije 58
DNA-polymerase 58
DNA-replicatie 58
dode ruimte 214
donor 270
Donorregister 270
donorverklaring 270
dubbele bloedsomloop 155
dubbelstrengs DNA 54
dunne darm 122

E
ecg 163
eiwitten 102
elektrocardiogram (ecg) 163
embryonale stamcellen 71
emulgeren 112
endeldarm 124
endodermis 151
enkelstrengs DNA 53
enkelvoudige bloedsomloop 153
enzymactiviteit 15
enzymen 14
epigenetica 75
epigenetische factoren 75
essentiële aminozuren 102
essentiële vetzuren 103
extracellulaire vertering 113

F
fagocyten 254
fagocytose 113
feces 124

fibrine 179
fibrinogeen 179
fosfolipiden 25
fotosynthese 11
fotosynthese, intensiteit van de 34

G
gal 112, 218
galblaas 112, 218
galgang 218
galkleurstoffen 112
galzouten 112
gaswisseling 200
gebreksziekten 107
gen 55
genetische code 64
genetische modificatie 85
genexpressie 69
genoom 52
genoommutaties 79
genregulatie 69
ggo 85
gisting 30
gisting, alcohol- 30
gisting, melkzuur- 30
glycerol 25
glycogeen 22
goedaardige tumor 82
grote bloedsomloop 155
guanine 53

H
haarvaten 166
haarzakjes 228
halvemaanvormige kleppen 160
hartinfarct 171
hartkleppen 160
hartpauze 161
hartruis 161
hartslagfrequentie 163
harttonen 161
harttussenwand 160
helixstructuur 24, 54
hemoglobine 178, 204
hemolyse 272
HLA 270
hoornlaag 227
houtvaten 150
huid 250
huidmondjes 152, 207
huig 111
Human Leukocyte Antigen (HLA) 270

I
immunisatie 264
immunisatie, actieve 266
immunisatie, passieve 266
immuniteit, kunstmatige 264
immuniteit, natuurlijke 264
immuun 264
incubatietijd 264
indirecte afweer 251
infectie 248
intensiteit van de fotosynthese 34
intensiteit van de stofwisseling 34
intracellulaire vertering 113

K
kamer 160
kapsel van Bowman 223
kernDNA 52
kiemlaag 227
kleine bloedsomloop 154
koolhydraten 103
koolstofassimilatie 11
kraakbeenringen 201
kransaders 159
kransslagaders 159
kunstmatige immuniteit 264
kwaadaardige tumor 82

L
lactase 118
lederhuid 228
lever 112, 218
leverlobjes 218
lichaamseigen 249
lichaamsvreemd 249
linkerboezem 160
linkerharthelft 154
linkerkamer 160
lipase 118
lis van Henle 223
longblaasjes 202
longcapaciteit 214
longen 200
longslagader 160
longvlies 210
luchtpijp 201
lymfe 183
lymfeklieren 183
lymfeknopen 183
lymfesysteem 183
lymfevaten 183
lymfocyten 254

M
maag 111
maag-darmholte 113
maagportier 111
maagsap 111
macrofagen 255
Major Histocompatibility Complex (MHC) 270
maltase 118
maltose 116
mechanische afweer 250
mechanische vertering 110
melanine 250
melkzuurgisting 30
metabolisme 10
metastase 82
MHC 270
microvilli 122
middenrifademhaling 211
mineralen 106
monosacharide 22
mtDNA 52
mutagene stoffen 80
mutagene straling 80
mutatie 78
mutatie-, punt- 78

N
natuurlijke immuniteit 264
neusslijmvlies 200
nierbekken 222
nierbuisje 222
niereenheid 222
nieren 222
nierkapsel 223
niermerg 222
nierschors 222
niet-coderend DNA 55
nucleïnezuur 53
nucleotide 53

O
O_2-concentratie 203
oedeem 184
oncogen 81
oncogenen, proto- 81
onderdruk 171
ontlasting 124
onverzadigde vetzuren 103
open circulatiesystemen 153
opperhuid 227
organische sapstroom 150

P

pancreas 112
passieve immunisatie 266
pepsine 116
pepsinogeen 116
peptidasen 118
pH 16
plasmiden 52
polysacharide 22
poortader 123, 169
primaire reactie 264
primaire structuur 24
proto-oncogenen 81
puntmutatie 78

R

reactieproducten 14
receptoreiwitten 256
rechterboezem 160
rechterharthelft 154
rechterkamer 160
rechterlymfestam 183
recombinant-DNA-techniek 85
regulatorgenen 69
repetitief DNA 55
repressor 70
resorptie 123
restvolume 214
resusantigeen 274
resusfactor 271, 274
resuskindje 275
ribademhaling 211
ribose 63
RNA 63
rode beenmerg 177, 254
rode bloedcellen 177

S

sacharase 118
sacharide 22
sacharide, di- 22
sacharide, mono- 22
sacharide, poly- 22
secundaire reactie 264
secundaire structuur 24
sequensen 60
sequentie 55
sinusknoop 162
slagaders 166
slagvolume 163
slijmvliezen 250
slokdarm 111
sluitcellen 208
spoorelementen 106
stamcellen 71
stamcellen, adulte 71
stamcellen, embryonale 71
startcodon 65
stembanden 201
stofwisseling (metabolisme) 10
stofwisseling, basale 34
stofwisseling, intensiteit van de 34
stollingsfactoren 179
stopcodon 65
strotklepje 111, 201
strottenhoofd 111, 201
structuurgenen 70
substraat 14

T

T-cellen 257
T-geheugencellen 260
T-lymfocyten 257
talg 228
talgklieren 228
telomeer 59
terugresorptie 224
thermoregulatie 228
thymine 53
transcriptie 63
transgeen 85
translatie 65
transplantatie 270
trichlyceriden 25
trilhaarepitheel 200
tripeptiden 118
trypsine 118
tumor 81
tumor, goedaardige 82
tumor, kwaadaardige 82
tumorsuppressorgen 80
twaalfvingerige darm 112

U

ultrafiltratie 223
uracil 63
ureum 219
urine 222
urineblaas 222
urinebuis 222
urineleiders 222

V

vaatgeruis 171
vaccin 264
vaccinatie 264
ventilatiebewegingen 211
verbranding 29
vertering, chemische 110
vertering, extracellulaire 113
vertering, intracellulaire 113
vertering, mechanische 110
verteringsenzymen 116
verteringsklieren 110
verteringsproducten 110
verteringssappen 110
verworven afweer 254
verzadigde vetzuren 103
verzamelbuisjes 222
vetten 103
vetzuren, essentiële 103
vetzuren, onverzadigde 103
vetzuren, verzadigde 103
vetzuur 25
vitale capaciteit 214
vitaminen 107
voedingsmiddelen 102
voedingsstoffen 102
voedingsvacuolen 113
voedingsvezels 103
voortgezette assimilatie 11
voorurine 223
vrije DNA-nucleotiden 58

W

waterhuishouding 225
weefselvloeistof 182
witte bloedcellen 179
worteldruk 151
wortelharen 150

Z

zetmeel 22
ziekteverwekkers 248
zweet 228
zweetklieren 228

AUTEURS
Deze geheel vernieuwde zesde editie bouwt voort op de vierde en vijfde editie van BVJ geschreven door: Arteunis Bos, Onno Kalverda, Ruud Passier, Gerard Smits, Ben Waas, René Westra

REDACTIE
Ivonne Hermens
Grada Hooijer

ONTWERP
Uitgeverij Malmberg

OPMAAK
Pointer grafische vormgeving, Geldrop

BEELDVERWERVING
B en U International Picture Service, Amsterdam

FOTO'S EN ILLUSTRATIES
123RF: thema 1: 1.2; thema 2: ontdekken lb, 7, 37, 46, samenhang 1; thema 4: ontdekken 1, 32, 40, samenhang 2; thema 6: practica 1(foto); Dominique Apers, Malnova Banejo, Clinge: thema 4: 51; Associated Press / Hollandse Hoogte, Den Haag: thema 1: ontdekken lb, 6; Erik Eshuis Infographics, Groningen: thema 1: 3, 26, 27, 28, 42; thema 2: 2, 8, 10, 15, 28, 40, 43, samenhang 2; thema 3: 4, 12, 21, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 33, 35, 36, 41, 45, samenhang 2; thema 4: 4, 5, 6, 8, 10, 18, 21, 25, 28, 33, 34, 35, 37, 41, 46; thema 5: 5, 7, 10, 11, 12, 18, 19, 21, 22, 23, 25, 34; thema 6: 8, 9, 12, 19, 20, 22, 23, 24, 28, 29, 35; Uit examen: thema 1: examentrainer 1, thema 2: examentrainer 1, examentrainer 2; thema 3: examentrainer 2; thema 4: examentrainer 1, examentrainer 2; thema 5: examentrainer 1, examentrainer 3; thema 6: examentrainer 1; ANP Photo, Rijswijk: thema 1: 36; thema 2: ontdekken 1; thema 3: ontdekken lb; Science Photo Library / ANP Photo, Rijswijk: thema 1: 22.2; thema 2: 11, 18; thema 3: 37.1, 37.2; thema 4: 16.1, 16.2, 24, 44; thema 5: 2.3; thema 6: 3.1, 3.2, 3.4, 16, 21, 33.1, 33.2, samenhang 1; Beeldunie, Amsterdam: thema 2: 16; Boekomslag: Bjorn, Fotografie: Bob Barten: thema 2: 41; Martijn Boudestein Infographics, Rotterdam: thema 1: 19; PCE Brookhuis BV: thema 1: 44; Canstock: thema 1: 39; Dreamstime: thema 4: 23, practica 2; Pieter van Gageldonk, RIVM Billthoven: thema 6: 30; Dr. W. Gehring, University of Basel, Zwitserland: thema 2: 29; Getty Images: thema 3: 22, 45; thema 5: 26; www.glofish.com / Wikimedia Commons: thema 2: 44; Hollandse Hoogte, Den Haag: thema 2: ontdekken 2; thema 6: 37; Greg Hume / Wikimedia Commons: thema 3: samenhang 1
Imageselect, Wassenaar: thema 1: 15, 37; thema 2: 45; thema 3: 10; thema 4: ontdekken lb, 42; thema 6: 3.3; iStockphoto: thema 1: ontdekken 1; thema 6: ontdekken lb; Medical Visuals / Maartje Kunen, Arnhem: thema 1: 7, 30, 31; thema 2: 3, 4, 5, 6, 12, 13, 14, 17, 20, 23, 32, 34, 35, 42; thema 3: 14, 17, 24, 32, 34; thema 4: 1, 2, 3; thema 6: 1, 2, 10; Medistudents - www.medistudents.com: thema 4: 30; Merlijn Michon Fotografie, Amsterdam: thema 3: ontdekken 1, 1, 3, 5 mo, 6, 8, 9, 19; Nationale Beeldbank, Rotterdam: thema 5: ontdekken lb, ontdekken 2; Nierstichting, Bussum: thema 5: 35; Reuters / Novum Nieuws, Amsterdam: thema 1: samenhang 1; Rijksoverheid: thema 6: 27, 31; Theo de Rouw, Merletcollege, Cuijk: thema 1: 43, practica 1; Shutterstock: thema 2: 15 l, m, r, 38, 39; thema 3: 2, 5 lb, rb, 13; thema 4: 13, 39, 49; thema 5: 15, samenhang 1; thema 6: 25, 26; thema 7: 7; Bas Teunis Zoölogical Illustrations, Sinderen: thema 7: 3, 4, 5, 6; Anouk de Veen, La Vita Sana voedingsadviesbureau, Lent: thema 1: 32; Voedingscentrum, Den Haag: thema 3: 38; Voermans Van Bree Fotografie, Arnhem: thema 5: practica 1, practica 2; Henk van de Vrande: thema 3: 23; thema 4: 14, 40; thema 5: 4.2, 14; thema 6: 34; thema 7: 1; Stichting Vrienden van Loesje, Arnhem: thema 4: samenhang 1; Wikimedia Commons: thema 5: 29

BEELDEN OMSLAG EN THEMAOPENINGEN
omslag: meeldraad hybicus: Science Photo Library / ANP Photo, Rijswijk
thema 1: plantencellen, Getty Images
thema 2: foto's kijken, Hollandse Hoogte, Den Haag
thema 3: ontbijt, Hollandse Hoogte, Den Haag
thema 4: rode bloedcellen, Science Photo Library / ANP Photo, Rijswijk
thema 5: sporter, Getty Images
thema 6: macrofagen en larve, Science Photo Library / ANP Photo, Rijswijk
thema 7: astronaut, Shutterstock

De uitgever heeft getracht met alle rechthebbenden op beelden en tekst in contact te treden. Mogelijk is dit niet in alle gevallen gelukt. Degene die meent op beelden en/of tekst recht te kunnen doen gelden, wordt verzocht in contact te treden met Uitgeverij Malmberg te 's-Hertogenbosch.

ISBN 978 94 020 0937 8

Zesde editie, vijfde oplage

MALMBERG

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.
Voor zover het maken van kopieën uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikel 16b Auteurswet 1912 j° het Besluit van 20 juni 1974, St.b. 351, zoals gewijzigd bij het Besluit van 23 augustus 1985, St.b. 471, en artikel 17 Auteurswet 1912, dient men de daarvoor wettelijk verschuldigde vergoedingen te voldoen aan de Stichting Reprorecht (Postbus 3051, 2130 KB Hoofddorp). Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet 1912) dient men zich tot de uitgever te wenden.
© Malmberg 's-Hertogenbosch

AUTEURS
Marianne Gommers
Arthur Jansen
André van Leijen
Ruud Passier
Hans Rawee
Theo de Rouw

EINDREDACTIE
Ilse Gmelig
Lineke Pijnappels



- Dit boek is van jou
- Je mag erin schrijven en aantekeningen maken
- Je hebt ook toegang tot de online leeromgeving met filmpjes, oefeningen en handige trainers

ISBN 978 94 020 0937 8
9 789402 009378
566060

MALMBERG